



Nuno Miguel Barreira Marques

**Painéis de fachada em betão
pré-fabricado – Comportamento térmico
e estrutural**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil – Perfil de Reabilitação de Edifícios

Orientador: Prof. Doutor Válder José da Guia Lúcio,
Professor Associado da FCT-UNL
Co-orientador: Prof. Doutor Daniel Aelenei,
Professor Auxiliar da FCT-UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Fernando Farinha da Silva Pinho
Arguente: Prof. Doutor Carlos Chastre Rodrigues
Vogais: Prof. Doutor Válder José da Guia Lúcio
Prof. Doutor Daniel Aelenei



**FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA**

Setembro de 2012

‘Copyright’ Nuno Miguel Barreira Marques, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

No decorrer da presente dissertação pude contar com o apoio de diversas pessoas, que contribuíram para o sucesso deste trabalho. Gostaria de manifestar em particular os meus mais sinceros agradecimentos:

Ao Professor Doutor Valter Lúcio, orientador científico desta dissertação, pela orientação, disponibilidade e por todo o apoio. Ao Professor Daniel Aelenei, co-orientador científico, pela inteira disponibilidade, orientação e apoio.

Ao Eng.º Romeu Reguengo e à empresa Concremat, pelo material fornecido e pela disponibilidade que sempre prestaram.

A todos os meus familiares, colegas e amigos, que estiveram sempre presentes e me transmitiram a motivação para conseguir chegar ao fim. Muito obrigado pela vossa amizade. Por fim, gostaria de agradecer e dedicar o meu trabalho aos meus pais, pela sua amizade e pelo apoio que sempre me prestaram ao longo de todo o meu percurso como estudante. Sem eles, nunca teria conseguido chegar aqui.

Resumo

A execução de fachadas ao longo dos anos tem sofrido uma enorme evolução, sendo que os painéis de fachada em betão pré-fabricado, proporcionam diversas possibilidades arquitectónicas com uma boa relação de preço face à qualidade apresentada, com uma redução de prazos globais de execução.

No presente trabalho, estudou-se a concepção, ao nível da produção, armazenamento, elevação, transporte e montagem.

Caracterizou-se os materiais normalmente utilizados ao nível de estética, relacionando as suas propriedades com as exigências de conforto visual.

Analisou-se o comportamento térmico e de estanquidade, no que diz respeito as exigências de habitabilidade, assim como o comportamento estrutural no campo das exigências de segurança.

A presente dissertação pretende ainda analisar a viabilidade económica das principais ligações de elementos de painéis que o mercado oferece, apoiada no seu desempenho estrutural e comportamento térmico.

Palavras-chave: Painéis sanduíche, Betão pré-fabricado, Paineis de Fachada, Paineis em Betão.

Abstract

The construction with facade panels in precast concrete, over the years has undergone tremendous development, and the architectural provide various possibilities with a good ratio of price compared to quality, with an overall reduction of exception time.

In this work, we studied the production of precast panels, storage, lift and transport.

Characterized the materials typically used in precast panels, their properties relating to the requirements of visual comfort.

We analyzed the thermal, sealing behavior and the structural behavior.

This dissertation also intends to analyze the economic viability of the main elements of panel connections offered by the market, supported in its structural performance and thermal behavior.

Keywords: sandwich panels, precast concrete, Facade Panel, Concrete Panel.

ÍNDICE DE TEXTO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Enquadramento do tema.....	1
1.2	Objectivos.....	1
1.3	Plano de trabalhos.....	2
2.	CARACTERÍSTICAS GERAIS	3
2.1	Estado de arte	3
2.2	Tipologias e formas estruturais dos painéis sanduíche	6
2.2.1	Descrição dos painéis sanduíche.....	6
2.2.2	Configuração de lâminas.....	7
2.2.3	Configuração de material do núcleo.....	7
2.3	Exemplos de obras com painéis de fachada pré-fabricados	7
2.4	Regulamentação Aplicável a Painéis de Sanduíche em Portugal	11
3.	CONCEPÇÃO DE PAINÉIS DE FACHADA EM BETÃO PRÉ-FABRICADO	13
3.1	Produção	13
3.1.1	Moldes	13
3.1.2	Betonagem	15
3.2	Armazenamento	17
3.3	Transporte	17
3.4	Elevação e Montagem.....	19
4.	EXIGÊNCIAS DE CONFORTO VISUAL	21
4.1	Estética	21
4.2	Tipos de acabamentos	21
4.2.1	Textura.....	22
4.2.2	Cor	23
4.2.3	Revestimentos	24
4.3	Geometria	25
5.	EXIGÊNCIAS DE HABITABILIDADE	27
5.1	Comportamento térmico.....	27

5.1.1	Conservação da energia	27
5.1.2	Transmissão de calor	27
5.1.3	Isolamento térmico	32
5.1.4	Pontes térmicas	32
5.2	Permeabilidade	34
6.	EXIGÊNCIAS DE SEGURANÇA	44
6.1	Comportamento Estrutural	44
6.1.1	Dimensionamento para as acções horizontais	44
6.1.2	Dimensionamento para acções verticais	44
6.2	Ligações	44
6.3	Fixações	51
6.3.1	Tipos de Fixações	53
6.3.2	Formas de Fixação	55
7.	CASO DE ESTUDO	58
7.1	Descrição do Caso	58
7.2	Geometria	58
7.3	Comportamento Estrutural	60
7.3.1	Dimensionamento para as acções verticais	60
7.3.2	Pormenorização do Pannel	69
7.4	Comportamento Térmico	70
7.4.1	Constituição (Materiais)	70
7.4.2	Cálculo do Coeficiente de Transmissão Térmica	74
7.5	Análise Comparativa de Resultados	90
8.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	95
8.1	Principais conclusões	95
8.2	Desenvolvimentos futuros	98
9.	BIBLIOGRAFIA	101

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1- Exigências Funcionais.....	5
Quadro 2 - Limitações de transporte de elementos pré-fabricados	18
Quadro 3 - Resistências térmicas superficiais.....	29
Quadro 4 - Resistências térmicas dos espaços de ar não ventilados	30
Quadro 5- Dimensionamento de Juntas	42
Quadro 6 - Quadro resumo do tipo de fixações.....	52
Quadro 7 - Quadro resumo de tipos de fixações aparafusadas	55
Quadro 8 - Especificações das ligações entre elementos do painel sanduíche	70
Quadro 9 - Quadro resumo de resultados do caso em análise	90
Quadro 10 - Quadro comparativo dos resultados de ligações em aço.....	91
Quadro 11 - Quadro comparativo resultados de ligações em fibra de vidro e <i>thermomass</i>	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Síntese aproximada da evolução de paredes exteriores em Portugal	3
Figura 2 - Edifício com Painéis pré-fabricados de betão com face-à-vista	4
Figura 3 - Constituição de um painel sanduíche	6
Figura 4 - Museu de Arte e Arqueologia do Vale do Côa	8
Figura 5 - Visconde de Alvalade Building	9
Figura 6 - Dolce Vita Tejo	10
Figura 7 - Estoril Sol Residence	11
Figura 8 - Pista na Concremat	13
Figura 9 - Empresa Concremat	13
Figura 10 - Pista com fundo metálico	14
Figura 11 - Armadura dos painéis	14
Figura 12 - Molde metálico para painéis de 16 cm de espessura	14
Figura 13 - Molde metálico para painéis de 12 cm de espessura	14
Figura 14 - Vibrador Manual	15
Figura 15 - Vibração através dos moldes	15
Figura 16 - Fabricação do betão	16
Figura 17 - Cavalete de madeira	17
Figura 18 - Método de armazenamento	17
Figura 19 - Cavalete metálico	18
Figura 20 - Camião de transporte	18
Figura 21 - Camião Grua	19
Figura 22 - Camião Grua	19
Figura 23 - Ligações Elevação	19
Figura 24 – Acessório de suspensão	20
Figura 25 – Acessório para suspensão	20
Figura 26 - Montagem de um painel	20
Figura 27 - Painéis de betão em obra	20
Figura 28 - Tipos de acabamento	21

Figura 29 - Painéis com pigmento a preto	21
Figura 30 - Paineis com textura	22
Figura 31 - Vários painéis com texturas.....	22
Figura 32 - Acabamento em granito.....	23
Figura 33 - Acabamento com pigmento	23
Figura 34 - Acabamento com corante Preto	24
Figura 35 - Revestimento Acústico	24
Figura 36 - Acabamento em mármore	25
Figura 37 - Tipos de Revestimento	25
Figura 38 - Revestimento em azulejo.....	25
Figura 39 – Exemplo ilustrativo de processos de transmissão de calor no caso duma envolvente vertical	28
Figura 40 - Exemplo pontes térmicas Painéis Sanduíche	34
Figura 41 - Junta entre pilar-painel	34
Figura 42 - Junta entre painéis.....	34
Figura 43 - Juntas entre painéis.....	35
Figura 44 - Juntas realizadas de forma incorrecta.....	36
Figura 45 - Corte junta horizontal - Esquema de junta de drenagem	37
Figura 46 - Exemplo de faixas de neoprene	37
Figura 47 - Planta Junta vertical -- Esquema de juntas de drenagem.....	38
Figura 48 - Corte junta horizontal - Esquema de juntas de drenagem	38
Figura 49 - Borracha Butílica Líquida da marca Sika.....	39
Figura 50 - Pormenor Mastique e Cordão neopolene.....	39
Figura 51 - Cordão de neopolene	40
Figura 52 - Aplicação mastique em juntas macho	40
Figura 53 - Mastique Sika modelo Sikaflex AT-Façade	40
Figura 54 - Juntas horizontais - Corte ortogonal ao plano do painel	41
Figura 55 - Juntas verticais – Corte horizontal.....	41
Figura 56 - Corte ortogonal ao plano do painel.....	42
Figura 57 - Representação de corte de largura e profundidade da junta	43

Figura 58 - Ligação entre as lâminas com conectores em fibra de vidro	45
Figura 59 - Ligação modelo Thermomass.....	45
Figura 60 - Conectores de Torção	45
Figura 61 - Conectores de Apoio	45
Figura 62 - Espaçadores	46
Figura 63 - Tipo de Conectores no painel de sanduíche	46
Figura 64 – Conectores em perfil de alumínio e armadura com rede electrosoldada	47
Figura 65 - Barra complementar	47
Figura 66 - Barra complementar com ligações	47
Figura 67 - Ligação através de armaduras	48
Figura 68 - Ligador Modelo Spa.....	49
Figura 69 - Pormenor Ligação Modelo Spa Conectores de Apoio	49
Figura 70 - Ligador Modelo DEHA	49
Figura 71 - Pormenor Ligação Modelo DEHA.....	49
Figura 72 - Análise condutibilidade térmica aço e fibra de vidro.....	50
Figura 73 - Características térmicas dos conectores	51
Figura 74 - Dimensões do conector Thermomass	51
Figura 75 - Fixação deslizante	53
Figura 76 – Corte horizontal de uma ligação macho aparafusada	53
Figura 77 - Corte horizontal de ligação macho soldada.....	53
Figura 78 - Fixações de apoio vertical em corte vertical.....	54
Figura 79 - Fixações de apoio vertical em corte vertical.....	54
Figura 80 – Fixação soldada de apoio lateral, em corte horizontal	54
Figura 81 - Dispositivos metálicos pré-ancorados	56
Figura 82 - Dispositivos metálicos pré-ancorados	56
Figura 83 - Dispositivos metálicos pré-ancorados	56
Figura 84 - Dimensões de ancoragem mínima de fixação pré-ancorados, internos	56
Figura 85 - Buchas de expansão mecânica	57
Figura 86 - Geometria Painel com conectores em fibra de vidro e Aço (sem escala).....	59
Figura 87 - Dispositivo de Fixação – Jordahl k41/22 com 150 mm (sem escala).....	60

Figura 88 - Modelo de cálculo	62
Figura 89 - Corte de painel sanduíche com armadura.....	63
Figura 90 - Armadura de painel.....	64
Figura 91 - Efeito do vento no painel	65
Figura 92 - Efeito do vento no painel	65
Figura 93 - Condições de apoio do painel.....	66
Figura 94 - Pormenorização do Paineiro (sem escala)	69
Figura 95 - Paineiro em planta com conectores em thermomass (sem escala).....	71
Figura 96 - Implantação (sem escala).....	72
Figura 97 - Área de influência considerada para efeitos de análise térmica (sem escala)	73
Figura 98 - Corte da configuração da área de influência (sem escala)	73
Figura 99 – Esquema das resistências térmicas da parede	74
Figura 100 - Pormenor Fachada (sem escala).....	75
Figura 101 - Vista a 3 dimensões no interior do edifício	76
Figura 102 - Modelo de ligações entre elementos em aço (sem escala)	76
Figura 103 – Esquema das resistências térmicas da parede	77
Figura 104 - Esquema das resistências térmicas da parede.....	81
Figura 105 - Modelo de ligações entre elementos em fibra de vidro (sem escala)	82
Figura 106 - Esquema das resistências térmicas da parede	83
Figura 107 - Esquema das resistências térmicas da parede	85
Figura 108 - Modelo de ligações entre elementos em thermomass (sem escala)	86
Figura 109 - Ligação de thermomass (sem escala).....	87
Figura 110 - Esquema das resistências da parede.....	88
Figura 111 - Ligações em aço.....	91
Figura 112 - Janela simples sem corte térmico.....	91
Figura 113 - Janela simples com corte térmico.....	91
Figura 114 - Ligações em fibra de vidro.....	92
Figura 115 - Ligações em thermomass.....	92
Figura 116 - Parede dupla.....	92

Figura 117 - Parede tripla.....	92
---------------------------------	----

LISTA DE ABREVIATURAS SIGLAS E SÍMBOLOS
Siglas

RCCTE	Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios
ACC	Betão autoclavado
GRC	Betão reforçado com fibra de vidro
ICB	Aglomerado de cortiça expandida
XPS	Poliestireno expandido estrudido
EPS	Poliestireno expandido moldado
PUR	Espuma rígida de poliuretano
PIR	Espuma rígida de poli-isocianurato
PEF	Espuma de polietileno expandido extrudido
FEF	Espuma elastomérica flexível
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
ITE	Informação Técnica de Edifícios
NIT	Nota de Informação Técnica
LFC	Laboratório de Física das Construções
EC2	Eurocódigo 2

Símbolos

dT/dx	gradiente de temperatura
A	área
T	temperatura absoluta do corpo negro
σ	constante de Stefan-Boltzmann
K	coeficiente de transmissão térmica
$1/h_i; 1/h_e$	resistência térmica superficial interior e exterior, respectivamente
R_j	resistência térmica da camada j
R_{ar}	resistência térmica de espaços de ar não ventilados
$1/h_e$	resistência térmica superficial exterior
$1/h_i$	resistência térmica superficial interior
R_j	resistência térmica da camada homogénea j

e_j	espessura da camada homogénea j
λ_j	coeficiente de condutibilidade térmica da camada homogénea j
K	coeficiente de transmissão térmica
K_{\max}	coeficiente de transmissão térmica máximo
K_{\min}	coeficiente de transmissão térmica mínimo
φ	amortecimento da onda de calor
μ	desfasamento temporal dos picos de temperatura
It	inércia térmica
M_i	massa superficial útil do elemento i
S_i	superfície do elemento i
A_p	área útil de pavimento do edifício
f_c	factor de concentração de perdas térmicas
K_i	coeficiente de transmissão térmica de cada zona parcial homogénea (em superfície) em que se subdivide o elemento de construção
A_i	área de cada zona parcial homogénea (em superfície) em que se subdivide o elemento de construção
K_{cr}	coeficiente de transmissão térmica em superfície corrente
τ	factor de temperatura superficial
t_i	temperatura do ambiente interior
t_{si}	temperatura superficial do paramento interior do elemento
t_e	temperatura do ambiente exterior
K	coeficiente de transmissão térmica do elemento
h	condutância superficial interior
ρ_m	factor de heterogeneidade de temperatura superficial
t_i	temperatura do ambiente interior
t_{si}	temperatura superficial do paramento interior do elemento
R	índice de redução sonora
$W_{transmitida}$	energia sonora transmitida
$W_{incidente}$	energia sonora incidente
τ	factor de transmissão sonora de um elemento
I_a	índice de isolamento sonoro para os sons de condução aérea
R_{45}	isolamento sonoro médio das paredes exteriores dos edifícios
R_w	estimativa do isolamento aos sons aéreos, em função da massa da parede

T_i	factor de transmissão sonora de cada elemento
S_i	área de cada uma das parcelas
R_m	índice de redução sonora médio
$m_1 ; m_2$	massa dos respectivos panos
f_{ctm}	valor médio da resistência à tracção do betão
f_{yk}	valor característico da tensão de cedência do aço
b	largura média da zona traccionada
d	altura útil da armadura traccionada ou altura útil da armadura de betão
A_c	área da secção transversal do pilar
A_s	armadura principal
h	espessura total da laje
f_{ctd}	valor de cálculo da resistência do betão à tracção, sendo considerada
ϕ	diâmetro da armadura longitudinal
σ_{sd}	tensão de cedência de cálculo do aço
f_{bd}	tensão de rotura da aderência
α_1	tem em conta o efeito da forma dos varões admitindo um recobrimento adequado
α_2	tem em conta o efeito do recobrimento mínimo
α_3	tem em conta o efeito de cintagem das armaduras transversais
α_4	tem em conta a influência de um ou mais varões transversais soldados
α_5	tem em conta o efeito da pressão ortogonal ao plano de fendimento ao longo do comprimento de amarração de cálculo
$l b_{rqd}$	comprimento de amarração de cálculo
$l bd_{,min}$	comprimento de amarração de cálculo mínimo
$l_{vão maior}$	maior vão da laje
$l_{vão menor}$	menor vão da laje
b	largura total da secção transversal
d	altura útil da secção transversal
M_{Rd}	momento flector a resistir pela armadura
f_{cd}	valor de cálculo da tensão de rotura do betão à compressão
ω	percentagem Mecânica de Mecânica de Armadura
A_s	armadura de Flexão
f_{yd}	valor de cálculo da tensão de cedência à tracção do aço das armaduras no betão armado

$V_{rd,c}$	valor de resistência do esforço transverso
A_{sl}	área de armadura de tracção
f_{ck}	tensão característica do betão à compressão
b	menor largura da secção transversal na área traccionada
S	distância entre varões
ϕ	diâmetro da armadura longitudinal
d_g	dimensão máxima do agregado
A_{sw}	armaduras de esforço transverso existente no comprimento s
s	espaçamento das armaduras de esforço transverso, medido ao longo do eixo do elemento
b_w	largura da alma do elemento
f_{ctm}	valor médio da resistência à tracção do betão
f_{yk}	valor característico da tensão de cedência do aço
σ_s	tensão máxima admissível na armadura imediatamente depois da fendilhação
A_{ct}	área de betão traccionada antes da fendilhação
ϕ_s	diâmetro modificado máximo dos varões
ϕ_s^*	diâmetro máximo dos varões
h	altura total da secção
M	momento quase-permanente
σ_s	tensão no aço
A_s	área da armadura traccionada
f_{yd}	valor de cálculo da tensão de cedência à tracção do aço das armaduras no betão armado
A_{sw}	área da secção transversal das armaduras de esforço transverso
s	espaçamento dos estribos
f_{ywd}	valor de cálculo da tensão de cedência das armaduras de esforço transverso
v_1	coeficiente de redução da resistência do betão fendilhado por esforço transverso
α_{cw}	coeficiente que tem em conta o estado de tensão no banzo comprimido
z	braço do binário das forças interiores
θ	ângulo formado pela armadura de esforço transverso com o eixo da viga
b_w	menor espessura na altura útil d da alma da secção
G	Acções permanentes
Q	Acções variáveis

A Acções acidentais

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do tema

Os painéis pré-fabricados de betão como materiais decorativos e de engenharia, oferecem possibilidades de edifícios bastante arrojados com uma excelente performance a vários níveis. A escolha de inúmeras cores e de materiais combinado com vários tipos de texturas de acabamentos fornece uma excelente liberdade arquitectónica. No norte da Europa esta solução é bastante utilizada devido a ser uma solução com boa relação preço-qualidade e também devido ao facto de existir em inúmeros tipos de painéis, isto é, um leque variado de opções. Os painéis tipo sanduíche são a solução tecnicamente mais eficientes e são um método dominante do que diz respeito a edifícios residenciais na Escandinávia. Os painéis pré-fabricados em betão têm grandes vantagens, ao nível da produção pois são realizados em condições industriais com mão-de-obra especializada e em geral conduzem a elevados padrões de qualidade. Por este motivo na execução destes elementos pré-fabricados em betão existe uma redução dos prazos globais de execução, assim como a racionalização de meios. A redução dos prazos torna a pré-fabricação economicamente atractiva, sendo que as soluções pré-fabricadas envolvem menos meios, menos pessoas em obra com trabalhos de duração mais curta, contribuindo para menor risco de acidentes de trabalho.

1.2 Objectivos

A motivação para este trabalho surge da necessidade de reunir uma vasta e dispersa bibliografia existente, compilando num único documento a síntese de factores essenciais de concepção e de execução de elementos de fachada em betão pré-fabricado. Assim sendo, será realizada uma pesquisa bibliográfica com os seguintes objectivos:

- Estudar a concepção de painéis de fachada em betão pré-fabricado, produção, armazenamento, elevação, transporte e montagem, com os diversos factores inerentes e condicionantes;
- Caracterizar os materiais normalmente utilizados ao nível de estética, relacionando as suas propriedades com as exigências de conforto visual;
- Analisar o comportamento térmico e de estanquidade, no que diz respeito às exigências de habitabilidade.

Paralelamente a este estudo bibliográfico inclui-se um caso de estudo, procurando-se a viabilidade económica face a ligações entre elementos em aço, fibra de vidro e *Thermomass*, englobando o seu comportamento térmico e estrutural.

1.3 Plano de trabalhos

A dissertação encontra-se organizada em 9 capítulos, sendo o primeiro capítulo a presente introdução e o último as conclusões.

No capítulo 2, apresenta-se uma descrição dos painéis de fachada pré-fabricados em betão, mais comuns em edifícios, dando uma maior relevância às opções existentes no mercado actual.

No capítulo 3, são introduzidas práticas na concepção de painéis de fachada na construção civil, focando a produção de peças pré-fabricadas, a elevação de painéis em fábrica, o seu transporte e a montagem destes elementos de fachada.

No capítulo 4, expõem-se as diversas exigências de conforto visual nomeadamente no que diz respeito à estética de painéis de fachada em betão pré-fabricado, os diversos tipos de acabamentos, a geometria das peças e os vãos a que os painéis estão sujeitos.

O capítulo 5, é dedicado às exigências de habitabilidade, nomeadamente ao comportamento térmico dando ênfase à conservação de energia, transmissão de calor, às exigências ao nível da inércia térmica, isolamento térmico e às pontes térmicas nestas peças pré-fabricadas. Fazendo também uma abordagem à permeabilidade.

No capítulo 6, analisa-se as características estruturais dos painéis, elegendo o comportamento estrutural, as acções, fixações e as ligações a que os elementos estão sujeitos

No capítulo 7, é introduzido um caso de estudo, onde se analisam os resultados em função da sua viabilidade económica que derivaram do seu comportamento estrutural e comportamento térmico.

No capítulo 8, enunciam-se as principais conclusões do estudo, enunciando sugestões para eventuais desenvolvimentos futuros.

2. CARACTERÍSTICAS GERAIS

2.1 Estado de arte

Em Portugal, nomeadamente nas últimas décadas tem-se assistido a uma grande evolução da forma como se executam as fachadas dos edifícios. Nos Anos 40 as edificações eram caracterizadas pela utilização do pano simples constituído por alvenaria de pedra com elevada espessura. Já nos Anos 50 começam a surgir as primeiras paredes duplas que consistiam num pano exterior de alvenaria e um pano interior de alvenaria de tijolo. Nos anos 60 caiu em desuso a alvenaria de pedra e aligeirou-se a constituição destas paredes com o recurso a alvenaria de tijolo vazado em ambos os panos.

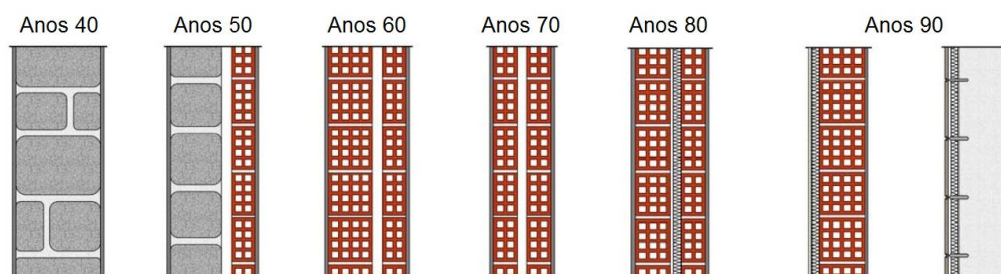


Figura 1 - Síntese aproximada da evolução de paredes exteriores em Portugal (Silva, 2000)

Já em meados dos anos 70 a constituição das paredes de alvenaria seria com dois panos de espessuras idênticas, embora por vezes estas espessuras eram bastante baixas e é precisamente devido a este último ponto que nos anos 80 surge a introdução do isolamento térmico no interior das paredes duplas, devido já a algumas preocupações com a eficiência energética dos edifícios. Já na década de 90 e com a entrada em vigor, em 1991, do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), Decreto-Lei n.º 40/90, de 6 de Fevereiro (RCCTE, 1990), surgem em Portugal inúmeros sistemas de isolamento térmico, começando a responder às preocupações em relação à eficiência energética. Por fim na última década em 2006 surge o Decreto-Lei n.º 80/2006, de 4 de Abril (RCCTE, 2006), a nova versão do RCCTE assenta, portanto, no pressuposto de que uma parte significativa dos edifícios vem a ter meios de promoção das condições ambientais nos espaços interiores, quer no Inverno quer no Verão e impõe limites aos consumos que decorrem dos seus potenciais, existência e uso (Freitas, 2002).

Os Romanos foram o povo galvanizador das construções em betão, existindo vários exemplos disso que podem ser visualizados nos dias de hoje. Outrora e sabendo que o betão remontava aos tempos do Egípcios, costumava-se definir por beton o que nos dias correntes conhecemos por betão, o aglomerado que se alcançava pela mistura de saibro ou cascalho com argamassa hidráulica. Após a

queda do Império Romano, a aplicação do betão também desapareceu e apenas em meados do Século XIX, este voltou a aparecer e a ser utilizado. Numa fase posterior surge a primeira fábrica de cimento Portland em Inglaterra que foi constituída em 1825, anos mais tarde aparece a primeira fábrica de cimento Portland em Portugal, precisamente no ano de 1866 em Alcântara (Pinho, 2000). A pré-fabricação em betão alastrou-se desde os edifícios de habitação, a todas as outras áreas de construção civil e aparece após a II Guerra Mundial, no sentido de atender à destruição dos países, como forma rápida de dar resposta à falta de habitação. Os elementos pré-fabricados desenvolveram-se através do método construtivo de execução de estruturas pré-fabricadas em betão e baseou-se acima de tudo na optimização de meios produtivos e na redução de prazos, tornando-o economicamente atractivo e vantajoso. Nos dias de hoje utilizamos este método construtivo em produtos e soluções estruturais que vão desde as lajes, lancis, pontes, condutas entre outras soluções que o mercado tem para oferecer (Saraiva, 2010).

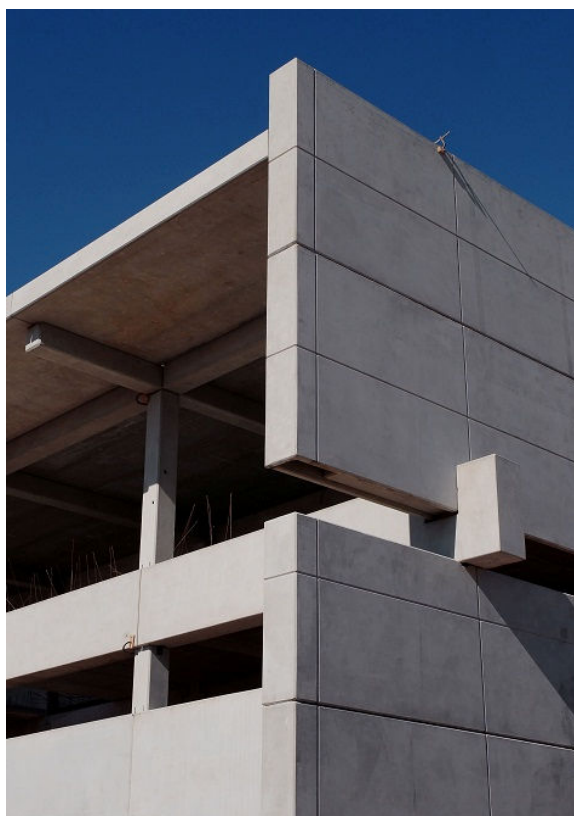


Figura 2 - Edifício com Painéis pré-fabricados de betão com face-à-vista (Empresa Concremat, 2011)

O betão tem como principal vantagem a sua resistência à compressão e desvantagem a sua pouca resistência à tracção. No entanto a baixa resistência à tracção pode ser compensada utilizando armaduras de ferro na sua aplicação em trabalhos à flexão (D' Arga e Lima, 1997).

De certa forma podemos dividir em dois tipos de fachada: em betão pré-fabricado, isto é, com blocos e a construção com painéis. A construção com blocos não passa de uma evolução da construção de adobe. A construção com painéis de betão pré-fabricados é uma solução mais recente comparativamente aos blocos de betão, este sistema aplica-se em edifícios com alguma dimensão. O mercado apresenta diversos tipos de painéis de betão: betão com agregados leves e de betão normal, de Betão autoclavado (ACC), betão reforçado com fibra de vidro, isto é, painéis de GRC (Glassfibre Reinforced Concrete). Os painéis de betão pré-fabricado são uma solução que pode ser economicamente vantajosa face a outras soluções existentes no mercado, devido ao recurso a guias para a montagem e tendo em consideração soluções modulares repetitivas. As soluções de painéis de fachada em betão pré-fabricado não são soluções padronizadas, as dimensões variam entre as empresas, fabricantes, podendo estas ser realizadas em função da criatividade do projectista, mediante a obra e sua forma de colocação e transporte. Sob o ponto de vista dos acabamentos é costume observar acabamentos exteriores de face-à-vista, sendo que ao nível do ambiente será preferível evitar espessuras de acabamentos superiores a 7 cm devido ao facto de existirem materiais naturais e de menor energia incorporados a preços equivalentes. Os painéis de GRC com as características que lhes são reconhecidas, isto é, a elevada resistência com um peso extremamente reduzido, permitem ser uma solução interessante em termos ambientais para o exterior, isto quando comparado a outro tipo de materiais como aglomerados de madeira/ cimento, devido à fibra de vidro (Mendonça, 2005).

Os edifícios devem satisfazer certas exigências funcionais, como demonstra o quadro seguinte:

Quadro 1- Exigências Funcionais

Exigências de Segurança
Segurança Estrutural
Segurança em Face de Incêndio
Segurança na Ocupação e Uso
Exigências de Habitabilidade
Equilíbrio Higrotérmico
Condições de Higiene
Conforto Acústico
Conforto Visual
Estanqueidade à Água, Ar e Poeiras
Disponibilidade de Espaço
Exigências de Economia
Durabilidade
Limitação do Custo Global

2.2 Tipologias e formas estruturais dos painéis sanduíche

2.2.1 Descrição dos painéis sanduíche

Os painéis pré-fabricados são solução de revestimento de fachadas com elevada liberdade arquitectónica. Os painéis podem apresentar-se em betão autoclavado, betão com agregados leves, em betão armado e em GRC, ou seja, betão reforçado com fibra de vidro. Por norma o fabricante executa os painéis de acordo com os projectos de arquitectura que são apresentados. Caso a caso e através dos gabinetes técnicos que estas empresas dispõem, os projectos são interpretados de forma a conceber e produzir peças segundo as indicações dos projectistas.

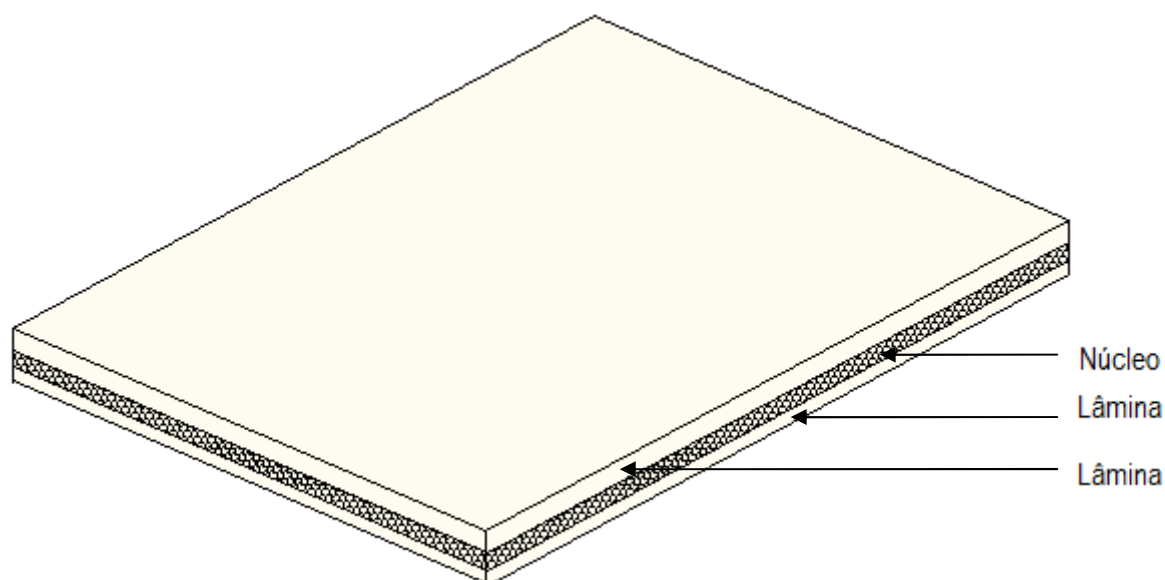


Figura 3 - Constituição de um painel sanduíche *

Os painéis de fachada sanduíche são usualmente realizados em betão armado, constituído por uma estrutura com três camadas (Figura 3). A camada exterior, constituída por betão armado, tem a função de conferir resistência. Já a camada interior, também ela em betão armado, tem uma função de revestimento. Estas estão separadas por um material que constitui o núcleo, de baixa densidade e que pode ser muito menos rígido e resistente do que os elementos de betão armado contíguos. Os painéis sanduíche apresentam diversas tipologias e formas estruturais, que se obtêm através das diferentes configurações e combinações das várias formas do material do núcleo (Allen, 1969).

* As figuras sem referência bibliográfica, foram tiradas ou desenhadas pelo autor.

2.2.2 Configuração de lâminas

Os painéis sanduíche normalmente são constituídos por lâminas planas, sendo que podem também apresentar uma configuração de superfície não plana, com uma secção transversal recortada. (Davies, 2001).

2.2.3 Configuração de material do núcleo

O núcleo em termos de material pode ser constituído por inúmeras soluções de isolamento térmico no mercado, nomeadamente: lã mineral (lã de rocha e lã de vidro), aglomerado de cortiça expandida (ICB), aglomerado de cortiça natural com ligantes betuminosos ou sintéticos, poliestireno expandido moldado (EPS), poliestireno expandido extrudido (XPS), espuma rígida de poliuretano (PUR), espuma rígida de poli-isocianurato (PIR), espuma polietileno expandido extrudido (PEF), grânulos leves ou fibras soltas e espuma elastomérica flexível (FEF) (Santos e Matias, 2000). Existem diversas soluções de isolamento de fachadas de betão, no caso específico do painel de sanduíche, o isolamento térmico está inserido no núcleo central do painel.

2.3 Exemplos de obras com painéis de fachada pré-fabricados

Numa abordagem à construção de painéis de fachada pré-fabricados em betão, tentou-se reunir algumas das obras mais importantes que foram realizadas em Portugal. Como tal, desta pesquisa resultam obras como, a execução do Museu de Arte e Arqueologia do Vale do Côa a cargo da empresa Monte Adriano, a obra Visconde de Alvalade Building, em Lisboa, dirigida pelo Grupo Opway, o Dolce Vita Tejo construída por parte do consórcio Mota-Engil/Somague em Lisboa e a obra em Cascais do Estoril Sol Residence executada pelo consórcio Edifer/Somague. Estas obras, pela sua envergadura, complexidade, arquitectura arrojada e multifuncionalidade intrínseca, exigem do construtor, para além do saber fazer e permanência constante na vanguarda do estado de arte, uma coordenação rigorosa e um alto nível de desempenho. De seguida, disponibiliza-se uma breve descrição de exemplos de obras com painéis de fachada pré-fabricados.

A obra do Museu de Arte e Arqueologia do Vale do Côa, localizada no concelho de Vila Nova de Foz Côa, distrito da Guarda, projectada pelos Arquitectos Camilo Rebelo e Pedro Pimentel em consórcio com a GOP - Gabinete de Organização de Projectos, Lda. foi executada em 2009 e decorreu durante treze meses e esteve a cargo da empresa Monte Adriano. O dono de obra é o Instituto de Gestão do Património Arquitectónico e Arqueológico - IGESPAR. Nesta obra foram utilizados painéis de fachada

de betão pré-fabricados com revestimento a imitar xisto, conseguido através de uma coloração de cor de xisto por meio da adição de pigmentos, como demonstra as seguintes figuras:¹

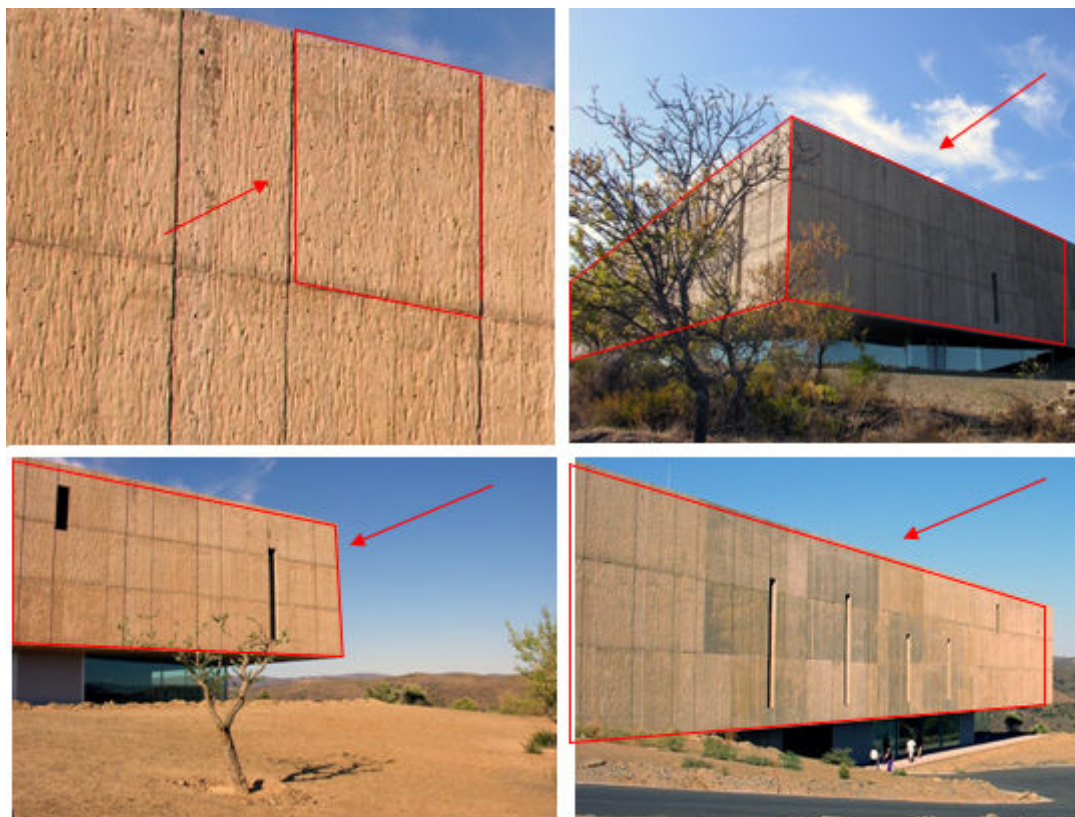


Figura 4 - Museu de Arte e Arqueologia do Vale do Côa¹

De seguida, apresenta-se a obra do Visconde de Alvalade Building, localizada em Lisboa, projectada pela empresa Intergaup, foi executada em 2003 pelo consórcio entre a empresa Opway e a Alves Ribeiro S.A., com recurso ao subempreiteiro de painéis pré-fabricados Concremat – Pré-fabricação e Obras Gerais, S.A.. O dono de obra foi o Sporting Clube de Portugal. Nesta obra foram utilizados painéis de fachada de betão pré-fabricados numa área de 2.080,00 m² como evidenciam as seguintes ilustrações:²

¹ Site monte adriano: <http://www.grupomonte adriano.com/>, em 15/03/2012

² Site opway: [http:// www.opway.pt/](http://www.opway.pt/), em 15/03/2012

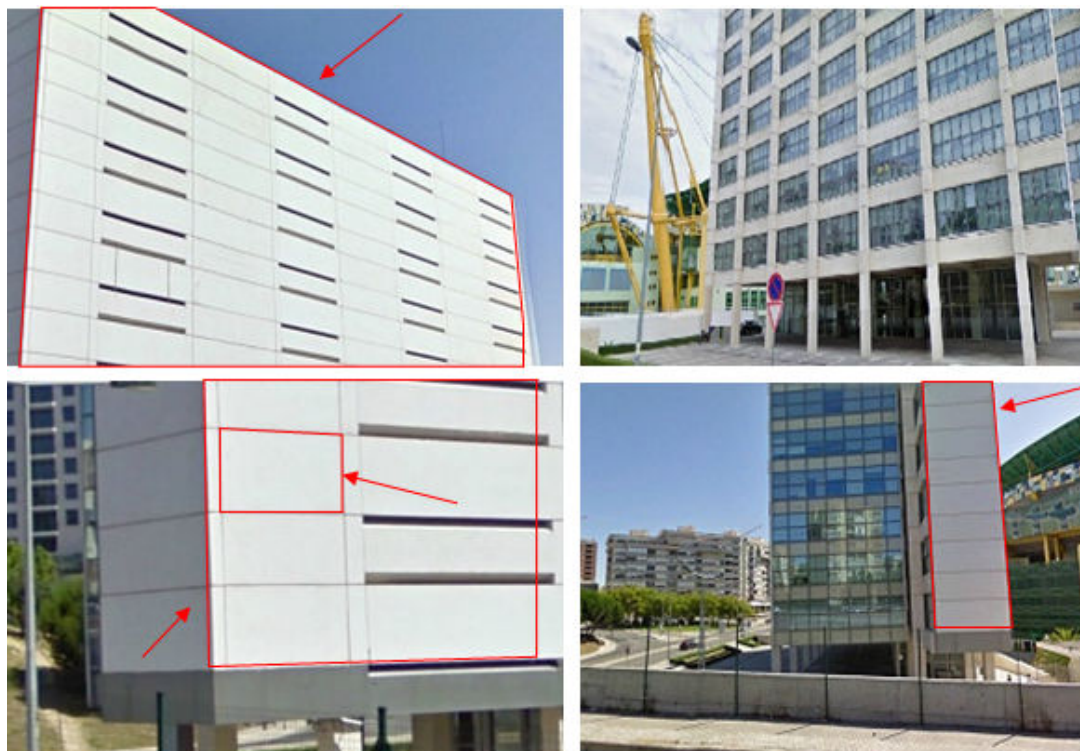


Figura 5 - Visconde de Alvalade Building ³

A obra do Dolce Vita Tejo, localizada no concelho de Loures, distrito da Lisboa, projectada pelo Arquitecto Paulo Preloiro, foi executada de Outubro 2005 a Maio de 2009 pelo consórcio entre Mota-Engil e a Somague. O dono de obra é o grupo Dolce Vita Tejo - Investimentos Imobiliários, S.A.. Nesta obra foram utilizados painéis de fachada, pintados com 15 cm de espessura numa área de 1.354,91 m² e painéis de fachada com textura “vetrograma” de 15 cm de espessura numa área de 2.458,21 m² como se apresenta de seguida:³

³ Site mota-engil: <http://www.mota-engil.pt/>, em 15/03/2012



Figura 6 - Dolce Vita Tejo⁴

A obra do Estoril Sol Residence no concelho de Cascais, distrito de Lisboa, foi projectada pelo Arquitecto Gonçalo Byrne. Esta obra foi executada pelo consórcio entre a empresa Edifer e a Somague de Dezembro de 2006 a Junho de 2010. O Dono de Obra foi a Fundor – Fundo de Investimento Imobiliário. Os painéis de fachada são em GRC com cimento pigmentado preto numa área de 1.224,00 m². Apresenta-se de seguida as fotos da obra: ⁴

⁴ Site edifer: <http://www.edifer.pt/>, em 15/03/2012

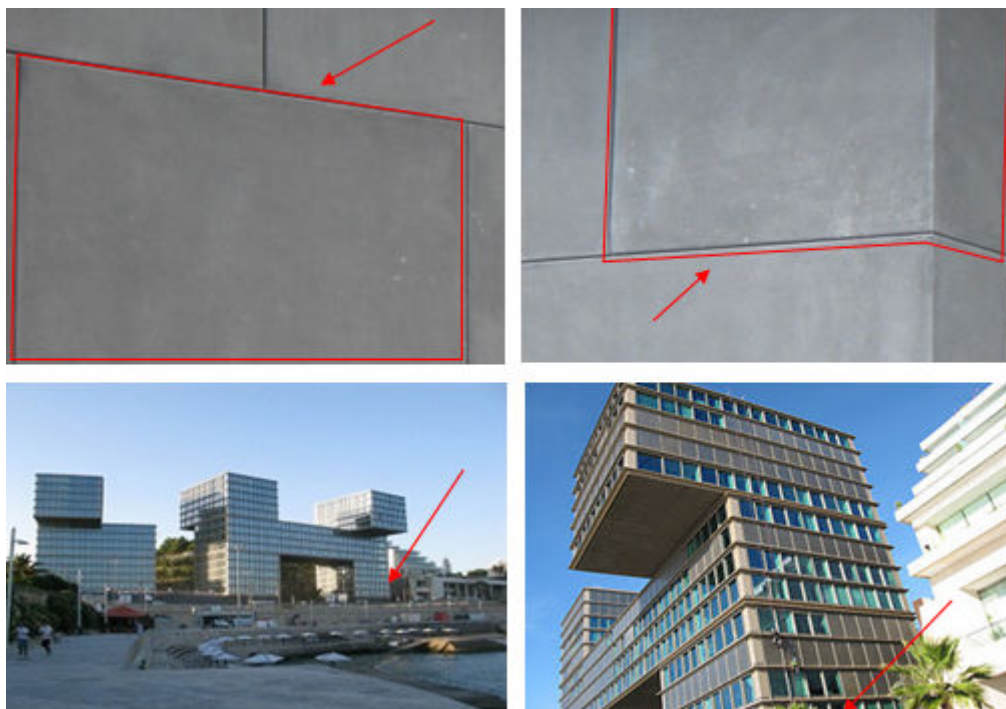


Figura 7 - Estoril Sol Residence

2.4 Regulamentação Aplicável a Painéis de Sanduíche em Portugal

No presente ponto, foca-se a regulamentação em vigor, utilizada em painéis sanduíche em Portugal nas especialidades de estruturas e térmica.

A regulamentação aplicada e utilizada em Portugal relativa a estruturas pré-fabricadas de betão será a Norma Europeia designada por ENV 1992 - 1-3, Eurocódigo 2 parte 1-3 (EC2, 1994). Esta norma contém o conjunto de regras e técnicas a cumprir na pré-fabricação de estruturas em betão e seguida em todos os países membros da União Europeia. O EC2 parte 1-3, complementa a ENV 1992 1-1 (EC2, 1992) nos aspectos particulares de peças e estruturas pré-fabricadas de betão, e estabelece os princípios base para o projecto e pormenorização de estruturas de edifícios executados parcial ou totalmente com peças pré-fabricadas. A parte 1-3 do EC2 é constituída pelos seguintes pontos de base para dimensionamento, propriedades dos materiais, dimensionamento de secções e elementos, disposições construtivas, execução dos trabalhos e controlo de qualidade.

Com o intuito de salvaguardar a satisfação das condições de conforto térmico em edifícios sem necessidades excessivas de energia quer no Inverno quer no Verão, surge legislação adequada à realidade nos dias que correm. O Decreto-Lei n.º 80/2006 de 4 de Abril, Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), assenta, portanto, no pressuposto de que uma parte significativa dos edifícios vêm a ter meios de promoção das condições ambientais nos espaços interiores, quer no Inverno quer no Verão e impõe limites aos consumos que decorrem dos seus potenciais, existência e uso. O Decreto-Lei n.º 79/2006 de 4 de Abril,

Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) veio definir um conjunto de requisitos aplicáveis a edifícios de serviços e de habitação dotados de sistemas de climatização, os quais, para além dos aspectos relacionados com a envolvente e da limitação dos consumos energéticos, abrange também a eficiência e manutenção dos sistemas de climatização dos edifícios, impondo a realização de auditorias energéticas periódicas aos edifícios de serviços. Neste regulamento, a qualidade interior surge também com requisitos relativamente aos caudais mínimos do ar interior por tipo de actividade e a concentrações máximas dos principais poluentes (edifícios existentes). A norma EN ISO 10211-1, estabelece valores para um tipo de ponte térmica linear. A norma EN 13370, valor de ψ para as perdas lineares de elementos da envolvente exterior em contacto com o terreno. A norma EN 12207, estabelece classes de permeabilidade ao ar. A norma NP1037-1 cujo cumprimento possibilita que a taxa de renovação horária de ar seja considerada, para fins de verificação regulamentar, como 0,6 renovações por hora. A norma ISO 6946:2007 propõe uma metodologia simplificada que impõe o cálculo de limites superior e inferior da resistência térmica das soluções.

3. CONCEPÇÃO DE PAINÉIS DE FACHADA EM BETÃO PRÉ-FABRICADO

3.1 Produção

3.1.1 Moldes

Os moldes utilizados nas linhas de montagem (figura 20 e 21) na execução de painéis pré-fabricados é função do produto que se pretende atingir, isto é, não é suficiente que tenham a configuração pretendida. Como tal, os moldes terão que ser criados de modo a possibilitarem uma fácil betonagem e uma posterior desmoldagem sem problemas.



Figura 8 - Pista na Concremat



Figura 9 - Empresa Concremat

Os moldes (figura 22 e 23) utilizados deverão ter resistência adequada na fase de vibração de forma a suportarem os esforços a que vão ser submetidos. A vibração pode ser realizada através da mesa onde se encontra os moldes ou através de meios vibratórios móveis. As juntas do molde entre painéis, deverão ser estanques de forma a evitar a perda de finos. Os vários moldes devem ter um controlo de qualidade rígido, isto é, deverão ser revistos, analisados periodicamente, registando as anomalias detectadas, usando assim a prevenção, para detectar possíveis falhas nas peças a betonar.

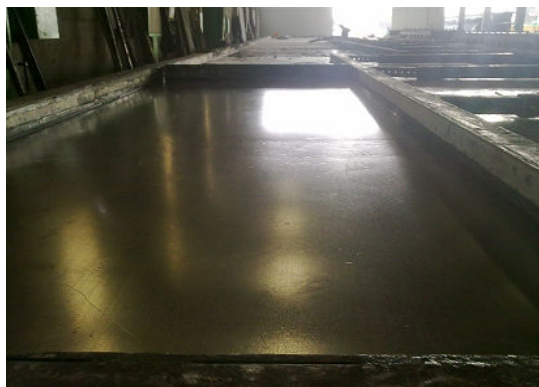


Figura 10 - Pista com fundo metálico



Figura 11 - Armadura dos painéis

Deverá utilizar-se um descofrante, sendo que este deverá fazer testes a este, analisando e avaliando as suas propriedades. De seguida, apresente-se dois moldes metálicos para painéis de 16 cm e 12 cm de espessura (figura 24 e 25).



Figura 12 - Molde metálico para painéis de 16 cm de espessura



Figura 13 - Molde metálico para painéis de 12 cm de espessura

Após a betonagem pode-se analisar as peças e verificar quais as que foram influenciadas pelo produto descofrante. O produto descofrante deve ser utilizado em dosagens correctas de forma a não existirem manchas na peça nem existirem obstáculos na descofragem.

3.1.2 Betonagem

Na colocação de armaduras deverá existir o cumprimento dos recobrimentos projectados.



Figura 14 - Vibrador Manual



Figura 15 - Vibração através dos moldes

Não deverá ser impedimento de uma correcta betonagem a colocação de acessórios nos respectivos moldes (figura 26 e 27). Deverá ser realizada uma vibração que permita alcançar faces lisas e homogéneas.

- **Composição do betão**

A análise da composição do betão a empregar é um ponto de elevada importância e como tal deve ser obtido um betão com a resistência adequada. É indispensável utilizar um betão com uma grande trabalhabilidade, sendo recomendado uma classe de resistência mínima C30/37. É importante obter elevadas resistências em pouco tempo, ou seja, doze horas de cura, de forma a possibilitar uma rápida desmoldagem. Deve existir um severo controlo da amassadura, garantindo que os elementos são colocados nas proporções correctas, incluindo um correcto teor de água. Deverão ser realizados testes periódicos em laboratório, ao betão utilizado. De seguida, apresenta-se os mecanismo de fabricação do betão em fabrica (figura 28).



Figura 16 - Fabricação do betão

- **Cura**

Na fase de cura, o betão deve ser protegido, sendo utilizadas membranas de cura para assegurar que não exista uma rápida libertação da humidade, no sentido de prevenir a micro fissuração e obter benefícios em relação às tensões de rotura.

- **Desmoldagem**

A desmoldagem é realizada com poucas horas de cura, sendo importante existir algum cuidado na abertura dos moldes, para não danificar as peças. Nesta fase existe um processo de elevação das peças, esta operação consiste em retirar o betão do molde e deve ser realizada sem choques nem impulsos desmedidos.

3.2 Armazenamento

O armazenamento das peças (figura 29 e 30) deve ser realizado de forma a estabelecer uma protecção essencialmente contra a sujidade e choques.



Figura 17 - Cavalete de madeira



Figura 18 - Método de armazenamento

O armazenamento é assegurado por paletes ou cavaletes de madeira, este último mais usual, de modo a facilitar a mobilidade para um posterior transporte. Na fase de armazenamento devem ser evitadas solicitações imprevistas nas peças.

3.3 Transporte

O transporte dos painéis pré-fabricados, deve ser assegurado por camiões transportadores (figura 32) através de paletes de madeira ou sobre cavaletes (figura 31), como mostram as figuras abaixo.



Figura 19 - Cavalete metálico



Figura 20 - Camião de transporte

As peças devem ser transportadas em posições devidamente seguras, devem ser protegidas nas suas arestas e acautelar possíveis manchas nas superfícies dos painéis. Assim sendo, os materiais utilizados no transporte são de extrema importância, devem evitar-se materiais como madeiras verdes, materiais metálicos que possam sujar o painel e materiais que absorvam humidades. O dimensionamento do painel, deve contemplar a resistência às acções dinâmicas nesta fase de transporte a que o painel estará sujeito. Em jeito de síntese podemos resumir a fase de armazenamento e transporte da seguinte forma: as peças serão encaminhadas para pistas ou moldes através de acessórios e transportadas por intermédio de ponte rolante para a zona de armazenamento, de onde serão encaminhadas para as diversas obras na data determinada pelo planeamento de montagem desta, o transporte é realizado em camiões transportadores.

O transporte e a montagem limitam de certa forma as dimensões e o peso das peças pré-fabricadas.

Quadro 2 - Limitações de transporte de elementos pré-fabricados (Saraiva, 2010)

Tipo de transporte	Comprimento (m)	Largura (m)	Altura (m)	Peso (ton)
Normal	Dentro dos limites do veículo	Dentro dos limites do veículo	4,20	40
Licença Anual	19,00	3,50	4,60	60
Carro Piloto	32,50	4,50	5,00	60
Carro Piloto e G.N.R.	> 32,50	> 4,50	> 5,00	> 60

3.4 Elevação e Montagem

A fase de montagem condiciona sobretudo, o peso e a disposição dos elementos pré-fabricados. As distâncias máximas de montagem são uma clara condicionante para o equipamento de montagem e influencia, indirectamente, o peso do pré-fabricado (Saraiva, 2010).

Os painéis de betão pré-fabricado, após transportados, são colocados em obra com camião grua (figura 33 e 34) ou guas, dependendo do grau de complexidade da obra em questão. Os meios de elevação devem ser devidamente dimensionados para a carga a elevar (figura 35).



Figura 21 - Camião Grua



Figura 22 - Camião Grua



Figura 23 - Ligações Elevação

Os painéis contêm acessórios de suspensão, (figura 36 e 37) sendo que o desengate das mesmas, apenas deverá ser efectuada após estas estarem no local definitivo de montagem e devidamente fixadas.



Figura 24 – Acessório de suspensão

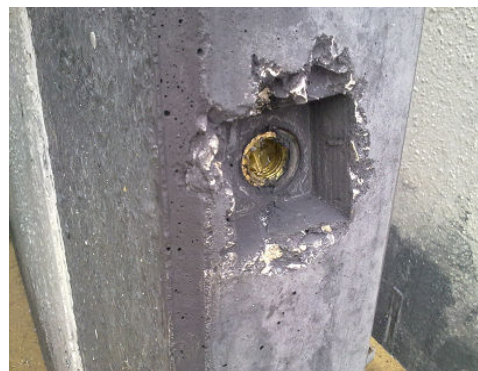


Figura 25 – Acessório para suspensão

As peças devem ser resguardadas de forma a proteger o seu acabamento. Deverão ser elevados por guias de capacidade adequada, utilizando para o efeito os pontos de fixação previamente colocados no próprio painel. A sua fixação à estrutura de apoio deverá ter sido previamente estudada (figura 38 e 39).

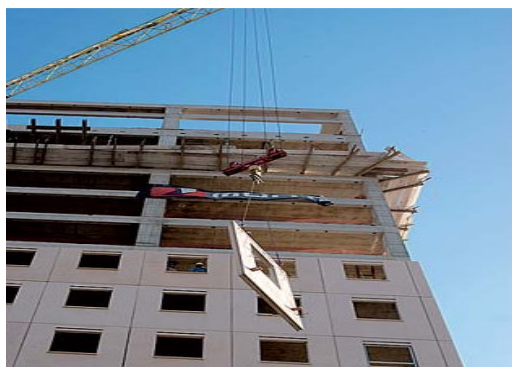


Figura 26 - Montagem de um painel ⁵

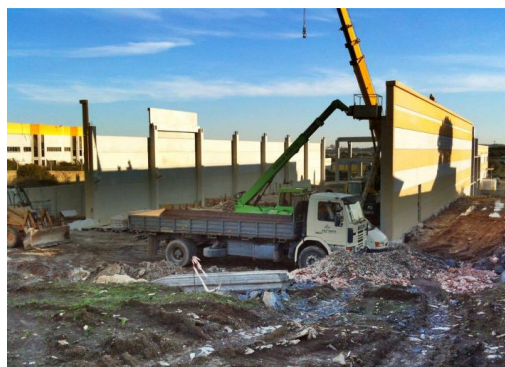


Figura 27 - Painéis de betão em obra ⁶

⁵ Site da Arcoweb: <http://www.arcoweb.com.br/>, em 04/01/2012

⁶ Site da Preoeste: <http://Preoeste.pt>, em 04/01/2012

4. EXIGÊNCIAS DE CONFORTO VISUAL

4.1 Estética

Os diversos tipos de acabamentos utilizados nos painéis pré-fabricados são aqueles que têm vindo a ser desenvolvidos pelos fabricantes ao longo dos tempos e os que os seus clientes pretendem obter, numa incessante procura de novas soluções. Nos painéis de fachada podem-se utilizar praticamente tudo aquilo que o projectista pretender.

4.2 Tipos de acabamentos

Existe uma enorme diversidade de texturas e formas (figura 40 e 41) para o acabamento dos painéis pré-fabricados, tais como: seixo, elementos cerâmicos, placas de pedra, entre outros (Freitas, 2002).

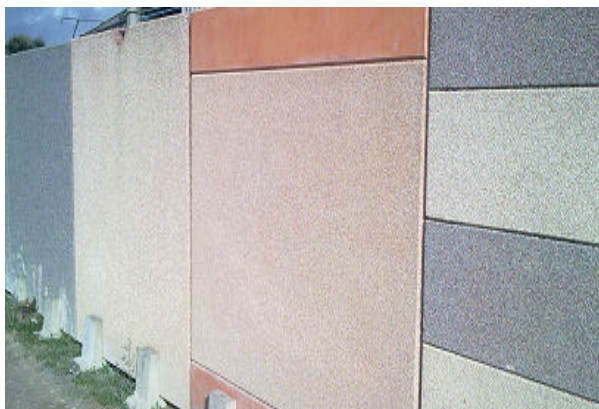


Figura 28 - Tipos de acabamento

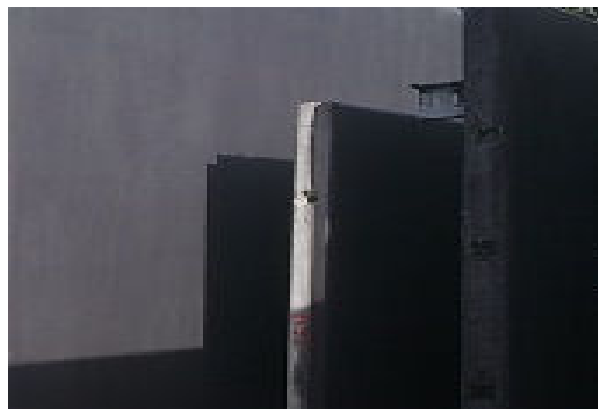


Figura 29 - Painéis com pigmento a preto

É usual utilizar-se como acabamento dos painéis pré-fabricados, betão à vista, no entanto a indústria destes elementos pré-fabricados alargou as hipóteses de escolha desenvolvendo diferentes técnicas de acabamento. Assim sendo, disponibilizou-se no mercado inúmeras cores em conjunto com vários tipos de materiais e diversos acabamentos e texturas para as superfícies (Van Acker, 2003).

4.2.1 Textura

Um painel de sanduíche em betão pode ter diversas texturas (figura 42, 43 e 44). Sabendo que a textura do betão é lisa não brilhante e que o grande granulado deste, não é absolutamente visível, são usadas técnicas de erosão ou mesmo ferramentas para obter texturas de pedra natural. A técnica de erosão acima referenciada, é um processo pouco amigo do ambiente, existindo diversas restrições em certos países Europeus.

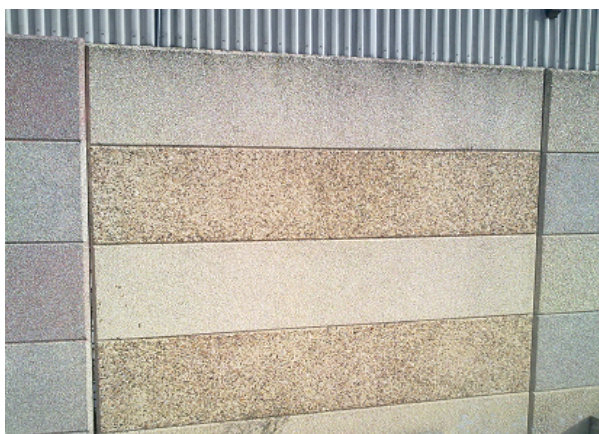


Figura 30 - Painel com textura



Figura 31 - Vários painéis com texturas

Outro dos processos frequentemente utilizados para obter um acabamento em agregados leves, consiste numa ligeira limpeza através de jacto de areia ou com retardador de superfície, sendo estas, técnicas utilizadas com alguma frequência. Como tal, ao aplicar uma ligeira limpeza obtém-se uma superfície suave de agregados finos de betão bem visíveis.

Já no caso do processo de jacto de areia os agregados ficam com uma textura mate. O jacto de areia é uma técnica utilizada, para garantir um acabamento de pedra.



Figura 32 - Acabamento em granito (Catálogo BS Itália, 2011)

Um processo que também pode ser utilizado em estruturas de betão, será a lavagem da superfície com jacto de água, isto quando o resultado pretendido passa por uma aparência mais pesada. Este método para secções em contacto com o molde, consiste na utilização de um retardador, assim que o painel seja removido do molde aplica-se uma lavagem ao betão. A textura do betão é evidentemente função do tipo de agregado utilizado, contando para este facto todo o tipo de variações das formas redondas, como as esmagadas. O polimento e a moagem são muito utilizados no acabamento do betão, oferecendo assim uma certa concorrência à pedra natural com face polida, com a diferença da oferta de muitas mais possibilidades, que a pedra natural ao nível económico e arquitectónico (Van Acker, 2003).

4.2.2 Cor

Nos painéis pré-fabricados pode ser utilizado um leque de cores naturais muito vasto (figura 45). Basicamente estas cores são as mesmas que se podem utilizar em pedra natural.



Figura 33 - Acabamento com pigmento (Catálogo BS Itália, 2011)

No caso específico de texturas finas, a cor é acima de tudo afectada pela espessura que contém dos agregados utilizados. No caso de agregados de dimensões grandes, o painel de cor vai assumir uma enorme importância.



Figura 34 - Acabamento com corante Preto



Figura 35 - Revestimento Acústico

Podem ser adicionados ao betão cores pigmentadas (figura 46 e 47), criando efeitos especiais. Os pigmentos orgânicos são mais instáveis do que os inorgânicos. O mercado dispõe de uma vasta paleta de cores pigmentadas. Relativamente à intensidade da cor aplicada no betão, esta pode ser influenciada pelas condições que a superfície apresenta ao nível da aderência, pela mistura ou pela vibração, sendo possível que ao aplicar uma cor com um tom claro se possa ter como resultado a obtenção nas peças, de uma cor escura (Van Acker, 2003).

4.2.3 Revestimentos

Pode-se utilizar diversos materiais no revestimento de elementos de fachada pré-fabricados como pedra natural, tijolos, peças cerâmicas, entre outros (figura 48). Estes materiais de revestimentos são inseridos no fundo dos moldes e colocados dentro das unidades.

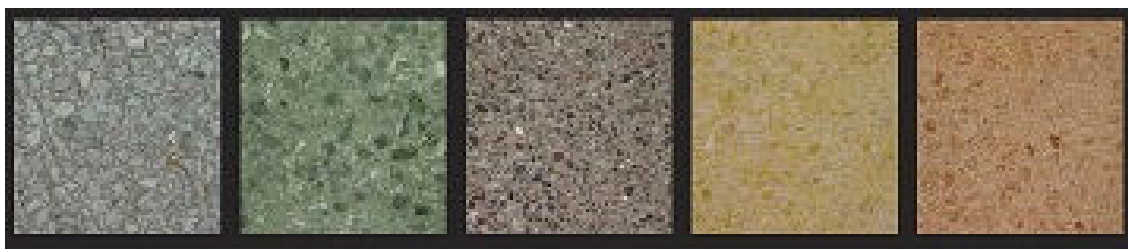


Figura 36 - Acabamento em mármore (Catálogo BS Itália, 2011)

Destaca-se nas duas figuras seguintes (figura 49 e 50), um revestimento cerâmico em painéis de fachada:

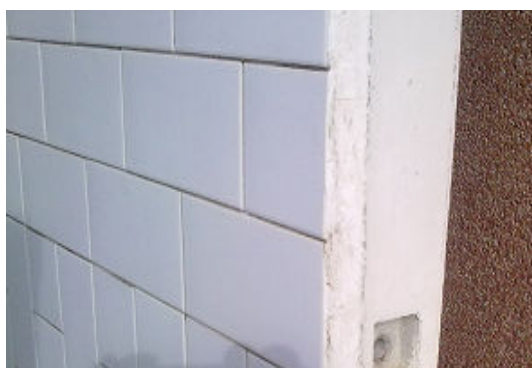


Figura 37 - Tipos de Revestimento



Figura 38 - Revestimento em azulejo

nos revestimentos com tamanhos grandes, como é o caso de pedra natural, utilizam-se modos de fixação especiais. A pedra é encaixada com fixadores de aço inoxidável. O betão terá um coeficiente de expansão bastante diferente da pedra natural, além disso, a temperatura da pedra natural será inegavelmente maior que a do betão, devido ao facto de ser o material constituinte da face exterior (Van Acker, 2003).

4.3 Geometria

Os painéis pré-fabricados de betão têm uma grande liberdade arquitectónica ao nível da geometria. Estes têm também algumas condicionantes, entre elas, o transporte para obra e a linha de fabricação. Tomando o exemplo, da fábrica de pré-fabricados de betão da Concremat, na Herdade do Monte Novo, Pinhal Novo, a fabricação apenas poderá ter 3 metros de largura sendo que o seu comprimento poderá ir até aos 16 metros. Numa fase posterior, põe-se a questão do transporte, pelo

que se terá que limitar o seu comprimento de forma a ser exequível o seu transporte sem encarecer a obra demasiado.

5. EXIGÊNCIAS DE HABITABILIDADE

5.1 Comportamento térmico

As exigências funcionais resultaram do homem enquanto habitante (Aelenei, 2007) sendo que com as exigências actuais de conforto higrotérmico, agregadas aos cuidados com o consumo de energia e protecção do ambiente, levaram à necessidade de proceder ao isolamento térmico dos edifícios, com o intuito de minimizar as trocas de calor com o exterior, com resultante redução das necessidades de aquecimento/ arrefecimento, assim como a diminuição dos riscos de ocorrência de condensações (Freitas, 2002). No panorama internacional, é de comum acordo a necessidade de obter edifícios com melhor qualidade, reduzindo os consumos de energia e as emissões de gases que colaboram como efeito de estufa ou o aquecimento global. Neste sentido Portugal, quando subscreveu o Protocolo de Quioto, assumiu compromissos correspondentes à necessidade de redução das emissões realizadas pelos diversos sectores, entre eles, os edifícios (RCCTE, 2006). De momento existem inúmeras soluções de isolamento térmico no mercado, nomeadamente: lã mineral (lã de rocha e lã de vidro), aglomerado de cortiça expandida (ICB), aglomerado de cortiça natural com ligantes betuminosos ou sintéticos, poliestireno expandido moldado (EPS), poliestireno expandido extrudido (XPS), espuma rígida de poliuretano (PUR), espuma rígida de poli-isocianurato (PIR), espuma polietileno expandido extrudido (PEF), grânulos leves ou fibras soltas e espuma elastomérica flexível (FEF) (Santos e Matias, 2000). Existem diversas soluções de isolamento de fachadas de betão, no caso específico do painel de sanduíche, o isolamento térmico está inserido no núcleo central do painel.

5.1.1 Conservação da energia

Os edifícios devem ser concebidos de forma a se obter um elevado desempenho ao nível do conforto higrotérmico, ou seja, o ambiente interno dos edifícios deve ser de forma, a que com vestuário adequado, os utentes possam realizar as suas actividades sem sensação de desconforto (Aelenei, 2007). As fachadas dos edifícios, tal como os restantes elementos da envolvente, contribuem para que as condições de conforto térmico no interior dos edifícios possam ser asseguradas sem dispêndio excessivo de energia, na medida em que o seu isolamento térmico reduz as trocas de calor com o ambiente exterior e a sua capacidade de armazenamento de calor contribui para a inércia térmica do edifício (Freitas, 2002).

5.1.2 Transmissão de calor

Um edifício pode ser visto como um sistema sujeito a vários tipos de acções, com origem no seu interior e/ou no seu exterior, resultando da combinação de três processos distintos: a condução, a convecção e a radiação (figura 51).

A condução, corresponde a um fenómeno de transmissão de calor entre duas zonas com temperaturas diferentes, podendo ocorrer em corpos sólidos ou fluidos. A transmissão de calor é regida pela Lei de Fourier, expressa por:

$$Q_x = \lambda \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \quad (5.1)$$

e que calcula a taxa de transferência de calor em função da condutibilidade térmica λ (W/(m.°C)), da área A (m²) e do gradiente de temperatura (dT/dx).

A convecção é o mecanismo de transmissão de calor típico dos fluidos, dado que ocorre na presença dos movimentos destes. A Lei de Newton determina que a taxa de transferência de calor é proporcional à área e à diferença de temperatura, isto é:

$$Q = h \cdot A \cdot (T_S - T_F) \quad (5.2)$$

onde h representa a radiação não necessita de meio de transporte dado que todos os corpos emitem e recebem radiação em função da sua temperatura absoluta. A radiação emitida por um corpo negro (corpo radiante puro) é dada pela expressão:

$$Q = \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad (5.3)$$

onde σ é a constante de Stefan-Boltzmann, de valor $5,67 \times 10^{-8}$ W/(m² .K⁴), A é a área em m² e T a temperatura absoluta do corpo negro, em Kelvin .

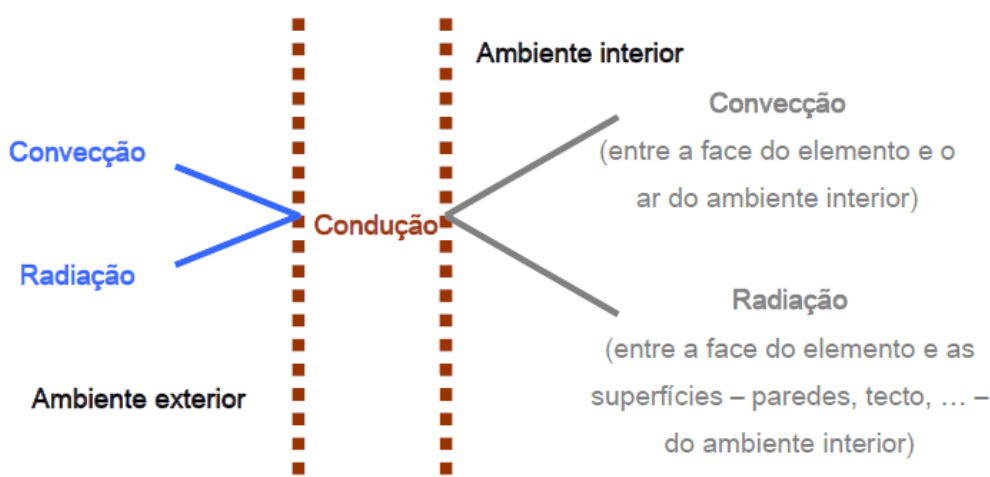


Figura 39 – Exemplo ilustrativo de processos de transmissão de calor no caso duma envoltória vertical

O desempenho energético dos edifícios depende em grande medida das características termofísicas dos elementos construtivos que constituem a envolvente sendo que os parâmetros mais importantes utilizados para efeitos dessa caracterização são o U e o R. O Coeficiente de Transmissão Térmica (U) de um elemento representa a quantidade de calor que o atravessa, por unidade de tempo e superfície, quando sujeito a um gradiente de temperatura unitário entre os ambientes que separa (RCCTE, 2006). Este parâmetro pode ser calculado através da seguinte expressão:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \quad (5.4)$$

onde:

R_{si} ; R_{se} : Resistência térmica superficial interior e exterior, respectivamente [$m^2 \cdot ^\circ C/W$].

R_j : Resistência térmica da camada j [$m^2 \cdot ^\circ C/W$].

A resistência térmica superficial, representa o efeito da convecção e da radiação, sendo que o seu valor varia em função de diversos factores, tais como rugosidade da superfície, velocidade do ar, posição da superfície, entre outros. Como tal, na prática são utilizados valores convencionais, conforme o indicado no quadro 2 (Santos e Matias, 2000).

Quadro 3 - Resistências térmicas superficiais (RCCTE, 2006)

Sentido do fluxo de calor	Resistência Térmica Superficial [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]		
	Exterior --- R_{se}	Local não aquecido (3) R_{se}	Interior --- R_{si}
(1) Horizontal	0,04	0,13	0,13
(2) Vertical ascendente	0,04	0,10	0,10
descendente	0,04	0,17	0,17

(1) Aplicável a paredes (até mais ou menos 30° com a vertical).

(2) Aplicável a coberturas e pavimentos.

(3) Os valores indicados traduzem o facto de, no caso do cálculo do coeficiente de transmissão de um elemento que separa um local não aquecido de um local aquecido, se adoptar $R_{se} = R_{si}$.

A resistência térmica de uma camada homogénea obtém-se através da seguinte expressão:

$$R_j = \frac{e_j}{\lambda_j} \quad (5.5)$$

onde:

e_j : Espessura da camada homogénea j . [m]

λ_j : Coeficiente de condutibilidade térmica da camada j [W/(m.°C)].

Os valores de coeficientes de condutibilidade térmica de camadas homogéneas ou não homogéneas podem obtidos através de consulta junto das empresas fabricantes de materiais detentoras de documentos de homologação ou através de bibliografia como por exemplo o ITE 50 do LNEC. Apresentam-se a título ilustrativo no quadro 3 os valores convencionais de resistência térmica de espaços de ar não ventilados (RCCTE, 2006).

Quadro 4 - Resistências térmicas dos espaços de ar não ventilados (RCCTE, 2006)

Sentido do fluxo de calor	Espessura do espaço de ar (mm)	Resistência Térmica - Rar [m ² .°C/W]
(1) Horizontal	5 10 15 de 25 a 100	0,11 0,15 0,17 0,18
(2) Vertical ascendente	5 10 de 15 a 100	0,11 0,15 0,16
(2) Vertical descendente	5 10 15 25 50 100	0,11 0,15 0,17 0,19 0,21 0,22

(1) Paredes (até +/- 30° com a vertical)

(2) Coberturas e pavimentos

Quando se verifica que as camadas não são homogêneas, o cálculo do coeficiente de transmissão térmica (U) deverá ser realizado segundo a Norma EN ISO 6946:1997 conforme a metodologia de cálculo que se apresenta de seguida:

- a. Calcula-se a resistência térmica total, R_T , de um elemento de camadas termicamente homogêneas e não homogêneas paralelas à superfície, através da média aritmética entre dois limites, superior (R'_T) e inferior (R''_T), da resistência térmica:

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} \quad (5.6)$$

onde:

R'_T : Limite superior [$m^2 \cdot ^\circ C / W$]

R''_T : Limite inferior [$m^2 \cdot ^\circ C / W$]

A resistência térmica total deve ser arredondada a duas casas decimais. O cálculo dos limites máximos e mínimos deve ser efectuado considerando o elemento dividido em secções e camadas, isto é, o elemento é dividido em partes, que por sua vez são termicamente homogêneas.

- a. O limite máximo, é determinado de acordo com um fluxo de calor perpendicular à superfície do elemento e é dada pela seguinte expressão:

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{f_q}{R_{Tq}} \quad (5.7)$$

onde:

$R_{Ta}, R_{Tb}, \dots, R_{Tq}$: Somatório de resistência térmica total de ambiente para ambiente de cada secção.

f_a, f_b, \dots, f_q : Fracção de áreas de cada secção.

- b. O limite mínimo, é determinado assumindo que todos os planos que são paralelos à superfície dos elementos são superfícies isotérmicas.

$$\frac{1}{R_j} = \frac{f_a}{R_{aj}} + \frac{f_b}{R_{bj}} + \dots + \frac{f_q}{R_{qj}} \quad (5.8)$$

Assim sendo, o limite inferior, é obtido através da seguinte equação:

$$R_T'' = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (5.9)$$

c. Estimativa do erro

É também definido na norma a precisão de cálculo através da relação entre os valores obtidos para os limites superior e inferior da resistência térmica total. Este método apenas é válido quando a razão entre os limites superior e inferior da resistência térmica é inferior a 1,5. Calcula-se em percentagem através da expressão:

$$e [\%] = \frac{R_T' - R_T''}{2 \cdot R_T} \times 100 \quad (5.10)$$

5.1.3 Isolamento térmico

Actualmente é prática corrente utilizar isolamento térmico em constituição de fachadas de edifícios, ideia reforçada com entrada em vigor do RCCTE em 2006 (RCCTE, 2006). Os painéis sanduíche são constituídos por dois panos de betão armado sendo que o isolamento térmico localiza-se entre os referidos panos. Usualmente o material utilizado na constituição de painéis de fachada sanduíche será o XPS, cujo a massa volúmica aparente, ρ [Kg/m³] varia entre 25 e 40. A condutibilidade térmica (valor de cálculo), λ [W/(m.°C)] é de 0,0037.

5.1.4 Pontes térmicas

Segundo a norma EN-ISO 10211 (2007), uma ponte térmica corresponde a qualquer zona da envolvente dos edifícios em que a resistência térmica é significativamente alterada. Essa alteração pode ser causada pela existência localizada de materiais de diferentes condutibilidades térmicas e/ou por uma modificação na geometria da envolvente, como é o caso das ligações entre diferentes elementos construtivos. Em termos de fenómeno físico, nas zonas de pontes térmicas as linhas do fluxo de calor deixam de ser rectilíneas, aspecto característico de um processo unidireccional e tomam as direcções em que a resistência oferecida à passagem de calor, é menor. Esta particularidade transforma a transmissão de calor nessas zonas num processo bidimensional ou mesmo tridimensional. Em termos práticos, as pontes térmicas têm como efeito um acréscimo das trocas de calor através da envolvente, relativamente a uma situação base que não contemple esse efeito, levando ao aumento dos consumos energéticos de um edifício e a uma distribuição

heterogénea de temperaturas nos paramentos. As pontes térmicas resultam sempre duma heterogeneidade, quer seja de ordem geométrica quer seja de ordem estrutural. Os casos mais comuns são a transição entre materiais com diferentes condutibilidades térmicas, alterações na espessura de um elemento e diferenças entre áreas internas e externas, como é o caso que ocorre nos encontros entre paredes, ou seja os cunhais, entre paredes e pavimentos e entre paredes e tectos. Em todos estes casos, o fluxo de calor segue a trajectória com menor dispêndio de energia, ou seja, procura o caminho em que a resistência térmica é menor. As pontes térmicas, devido às maiores taxas de perdas de calor induzidas, acusam uma temperatura superficial mais baixa do que a da zona corrente, originando heterogeneidades na distribuição das temperaturas faciais interiores dos elementos, que potenciam o risco de condensações e o consequente aparecimento de patologias construtivas e funcionais. Actualmente os edifícios possuem sempre isolamento térmico para fazer face às exigências regulamentares de limitação das necessidades energéticas de climatização. Em ambos os casos as pontes térmicas surgem quando o isolamento térmico não é homogéneo ao longo de toda a envolvente. Na zona das portas e janelas, é difícil garantir uma ligação eficaz do isolamento às caixilharias, o que dificilmente elimina a ponte térmica no enquadramento dos vãos.

A correcção das pontes térmicas deve ser efectuada em função do tipo de pormenor construtivo que a causa, procedendo ao reforço do isolamento térmico nessa zona de modo a minimizar o seu efeito. A análise de cada pormenor susceptível de criar uma ponte térmica e a preconização de uma solução correctiva que melhor se adapte ao tipo de construção, será a melhor forma de solucionar os problemas associados às pontes térmicas. Devido às quebras de isolamento produzidas, as pontes térmicas conduzem a gastos energéticos acrescidos, podendo ser responsáveis por uma parcela importante das perdas que ocorrem através da envolvente. Não é eficiente isolar termicamente as zonas correntes dos elementos e depois descuidar as zonas das pontes térmicas. O fluxo de calor vai sempre percorrer o caminho mais fácil, e neste sentido prefere atravessar as zonas das pontes térmicas, onde o isolamento é mais fraco, em vez de atravessar as zonas mais isoladas. Outros problemas associados às pontes térmicas, além do aumento dos gastos energéticos, são as patologias construtivas e a redução dos níveis de conforto associados à ocorrência de fenómenos de condensação motivados pela diminuição da temperatura dos paramentos nas zonas de pontes térmicas. As humidades de condensação nos edifícios são muito problemáticas, originando gastos adicionais em manutenção, problemas de durabilidade dos materiais, redução do conforto e o aparecimento de fungos e bolores que podem levar à insalubridade do ar e do restante ambiente envolvente. A degradação dos edifícios devido à acção da humidade é o factor com maior peso na limitação da vida útil dos edifícios. A humidade nos edifícios pode ter várias origens, mas o fenómeno que surge associado às pontes térmicas é o da condensação. A humidade de condensação deve-se à saturação do ar pelo vapor de água em zonas onde a temperatura é inferior à temperatura de orvalho. Atendendo ao abaixamento das temperaturas superficiais nas zonas de pontes térmicas, percebe-se que estas são zonas potenciais de ocorrência de condensações, sobretudo no Inverno. Assim, uma das formas de prevenir a ocorrência de condensações nos locais, para além da que consiste em promover a sua ventilação, isto é, a prevenção de condensações por redução da

quantidade de vapor de água presente no ar, é a de aumentar o isolamento térmico nas zonas de pontes térmicas, ou seja, a prevenção de condensações por aumento das temperaturas superficiais e, conseqüentemente, por afastamento destas da temperatura de orvalho (Valério, 2007).

Apresenta-se de seguida na figura 52, exemplos de pontes térmicas nos painéis de sanduíche.

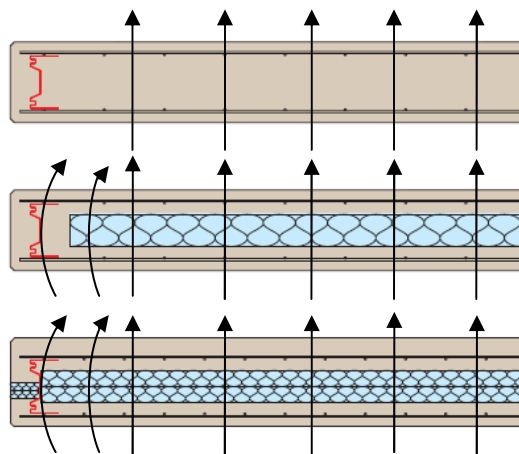


Figura 40 - Exemplo pontes térmicas Painéis Sanduíche (Adaptada do Catálogo BS Itália, 2011)

5.2 Permeabilidade

O princípio da construção de painéis pré-fabricados, é em geral a formação da união de várias peças, formando-se juntas entre estes elementos (figura 53 e 54), ou seja, as juntas estabelecem a linha de divisão entre painéis.

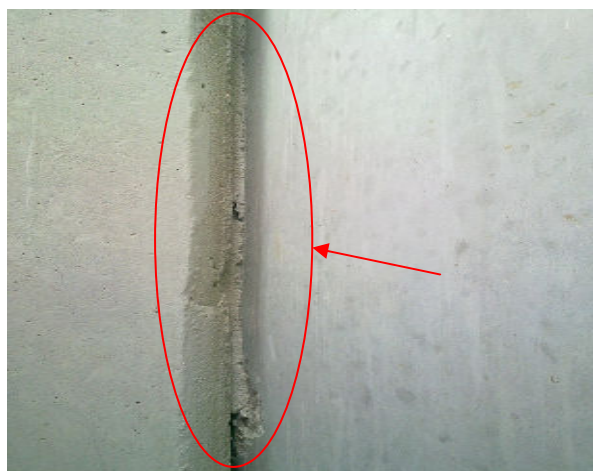


Figura 41 - Junta entre pilar-painel



Figura 42 - Junta entre painéis

As juntas, devem ser o mais estanque possível sem propagar as tensões provenientes de movimentações, tanto dos painéis como da própria estrutura de suporte para elementos adjacentes, evitando a introdução de tensões adicionais nos próprios painéis (Taylor, 1992). Neste sentido, devem ser adoptados alguns critérios pelos quais as juntas devem ser projectadas, atendendo a certos requisitos de desempenho em relação à competência de absorver deformações sem introduzir tensões extra nos elementos, estanquidade à água e ao ar. A forma como se estabelecem esses critérios, está relacionada com a análise do tipo de juntas, a escolha dos materiais selantes e das dimensões mínimas estabelecidas para as juntas. O dimensionamento das juntas e a análise dos materiais selantes, segue no sentido de estabelecer critérios que cumpram com o desempenho funcional das juntas e com a estanquidade das fachadas. De realçar que a localização das juntas é um ponto que influencia a produtividade da mão-de-obra, estanquidade, ligada à facilidade de preenchimento com material selante assim como a sua capacidade de absorver movimentações. Existe alguma facilidade de preenchimento das juntas no caso de estarem localizadas nas extremidades, tanto no comprimento como na altura do painel. Caso existam nervuras nos painéis é recomendado que as juntas se localizem perto dos bordos e das nervuras (PCI, 1989). Deve ser evitado juntas no meio de vãos, assim como em superfícies inclinadas, devido à dificuldade de criar formas geométricas, ao nível das juntas e do próprio painel, para que a água da chuva seja conduzida para fora da superfície da fachada (figura 55 e 56).

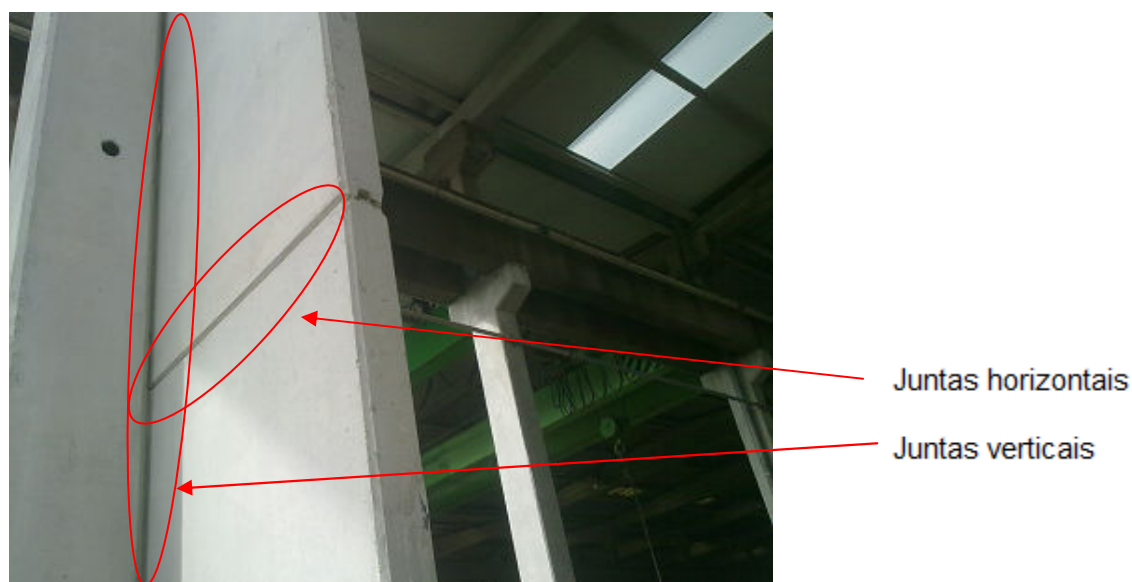


Figura 43 - Juntas entre painéis

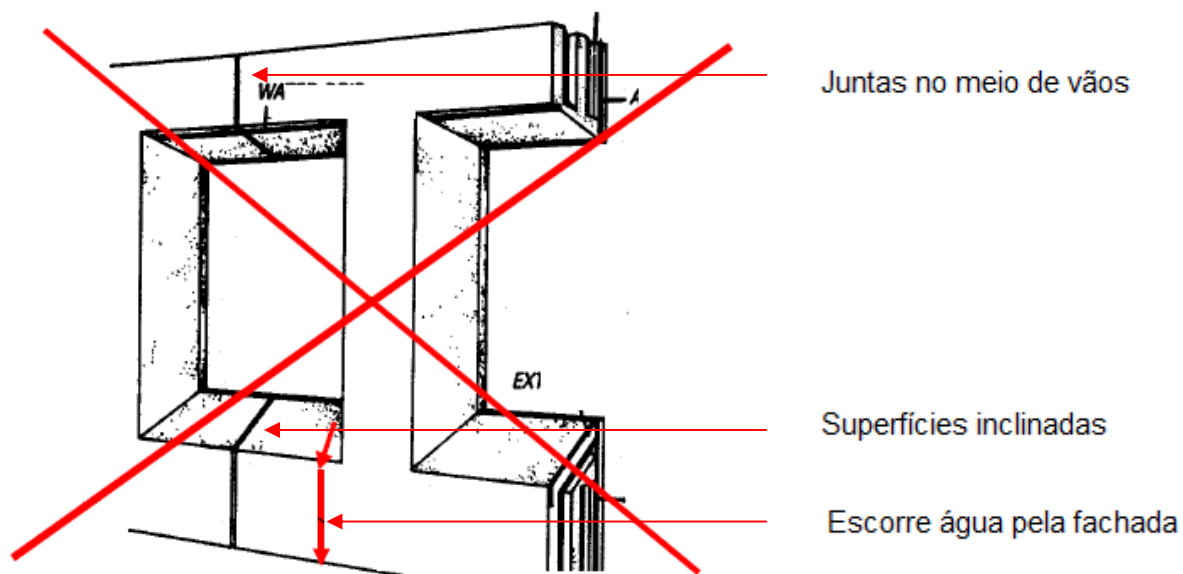


Figura 44 - Juntas realizadas de forma incorrecta (Adaptada do PCI, 1989)

Em relação ao preenchimento das juntas, tem-se:

Juntas abertas: são juntas, em que a própria geometria e/ou introdução de um dispositivo de drenagem, é suficiente para garantir a sua estanquidade à água;

Juntas seladas: são aquelas que são preenchidas por um material selante. Contribuindo assim para a sua estanquidade e formando uma descontinuidade no conjunto do painel, reduzindo a dissipação de tensões para as peças adjacentes.

Juntas coladas: São juntas que são preenchidas com um material do tipo cola, criando uma união entre os componentes.

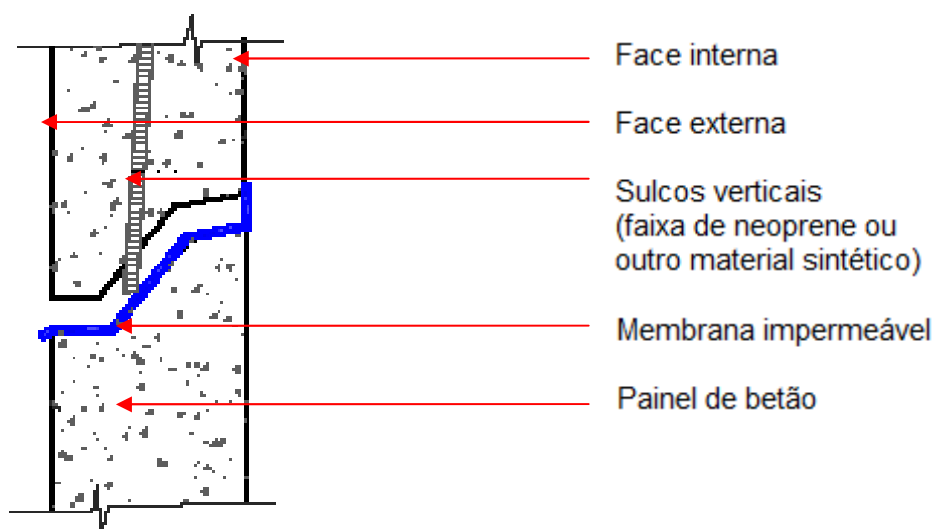


Figura 45 - Corte junta horizontal - Esquema de junta de drenagem (Adaptada do PCI, 1989)

Podemos classificar as juntas abertas, como de drenagem aquando da utilização de dispositivos de drenagem, isto é, obturadores flexíveis, que são utilizados para evitar a humidade nos painéis de betão pré-fabricados. Estes dispositivos evitam também a acumulação de água da chuva, impedem a penetração de água e ar no interior dos edifícios.



Figura 46 - Exemplo de faixas de neoprene ⁷

⁷ Site da Empresa Neoport: <http://www.neoport.com.br/inicial.htm>, em 06/02/2012

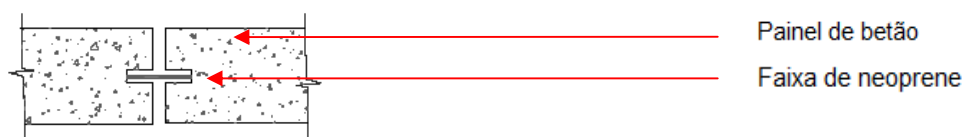


Figura 47 - Planta Junta vertical -- Esquema de juntas de drenagem (Adaptada do PCI, 1989)

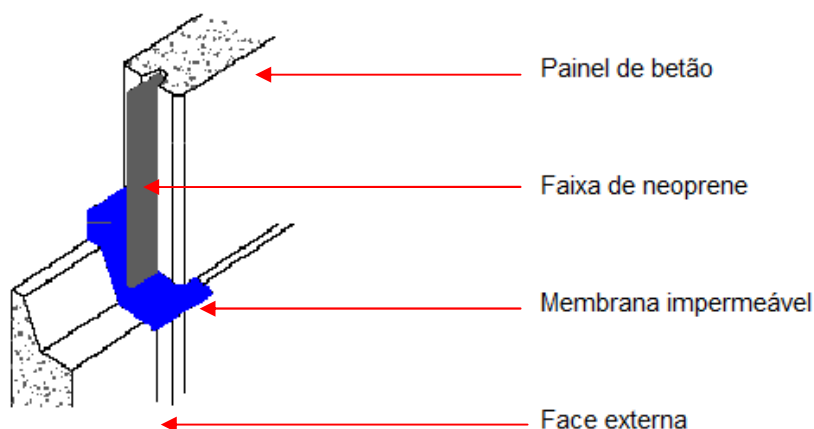


Figura 48 - Corte junta horizontal - Esquema de juntas de drenagem (Adaptada do PCI, 1989)

Como se pode verificar nas figuras ilustradas anteriormente, as juntas de drenagem podem ser obtidas através da sobreposição de bordos horizontais em conjunto com a existência de sulcos verticais, onde se poderão posicionar faixas de neoprene, funcionando como barreiras estanques à água. Utiliza-se uma membrana impermeável, no encontro entre as juntas verticais e horizontais que pode ser em borracha butílica ou manta betuminosa, de forma a garantir a sua estanquidade. O mercado apresenta inúmeras soluções de impermeabilização em borracha butílica ou manta betuminosa, desde produtos líquidos a não líquidos (figura 61) apresenta-se uma solução da marca Sika modelo Igolastic de 5 kg (Catálogo Sika, 2009), que consiste em um membrana líquida à base de borracha butílica, não contendo alcatrão nem produtos betuminosos. Este produto é de cor preta sendo permitida a sua utilização em superfícies de betão.



Figura 49 - Borracha Butílica Líquida da marca Sika (Catálogo Sika, 2009)

Já no campo das juntas seladas, a estanquidade é garantida através de um material selante e por meio da sua geometria, ou seja, sobrepostas ou justapostas. Assim sendo, pode-se classificar em dois tipos: as de um estágio e as de dois estágios. Como tal, as juntas de um estágio, contêm apenas uma linha de defesa, devido ao seu formato geométrico simples, isto é, justapostas, tendo o selante em apenas uma das suas bordas. Na figura 62 ilustra-se uma junta justaposta de um estágio.

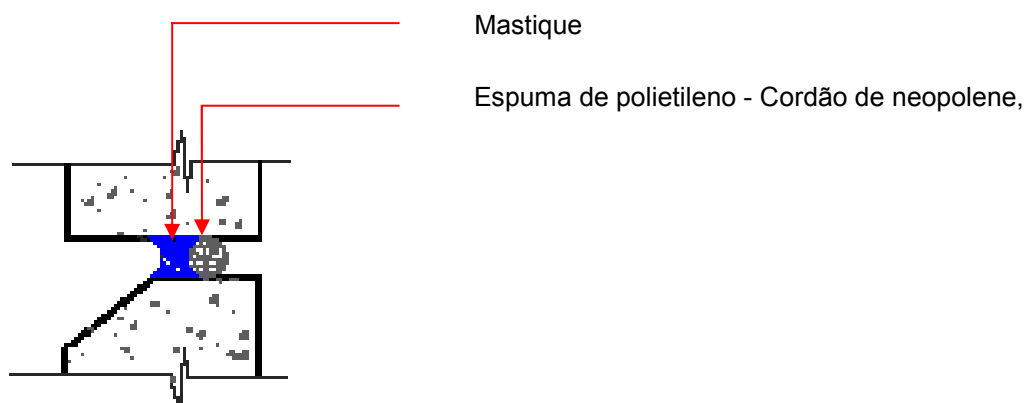


Figura 50 - Pormenor Mastique e Cordão neoplene (Adaptada do PCI, 1989)

Relativamente à espuma de polietileno – cordão de neoplene (figura 63), encontra-se no mercado em perfil cilíndrico de célula fechada para pré-enchimento de juntas onde se aplicará posteriormente um material selante e está disponível em diversas dimensões (6, 10, 15, 20, 25, 30, 40 [mm]) (Catálogo Sotecnisol, 2011), dependendo do fabricante, sendo este um material de pré-enchimento em juntas, sob qualquer mastique de aplicação a frio, controlando a espessura do mastique e limitando a profundidade, promovendo um comportamento adequado do selante.



Figura 51 - Cordão de neoprene (Catálogo Sotecnisol, 2011)

As figuras seguintes ilustram a aplicação do mastique aplicado em painéis de fachada. O produto apresentado é da marca Sika modelo Sikaflex AT-Façade (Catálogo Sika, 2009), que corresponde a um mastique de elevado desempenho para juntas de dilatação, este produto apresenta uma excelente resistência à exposição ambiental e aos raios UV. O produto está disponível em cor branca e cinzenta.

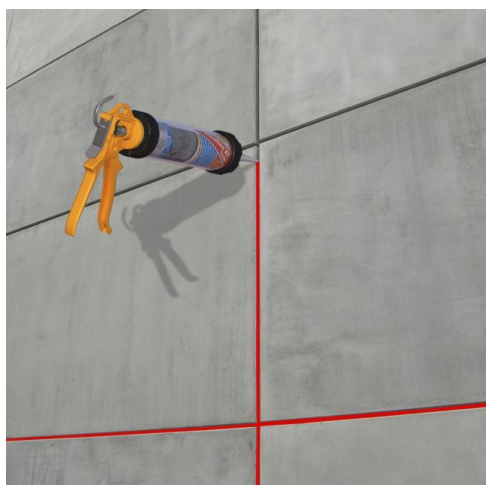


Figura 52 - Aplicação mastique em juntas macho (Catálogo Sika, 2009)



Figura 53 - Mastique Sika modelo Sikaflex AT-Façade (Catálogo Sika, 2009)

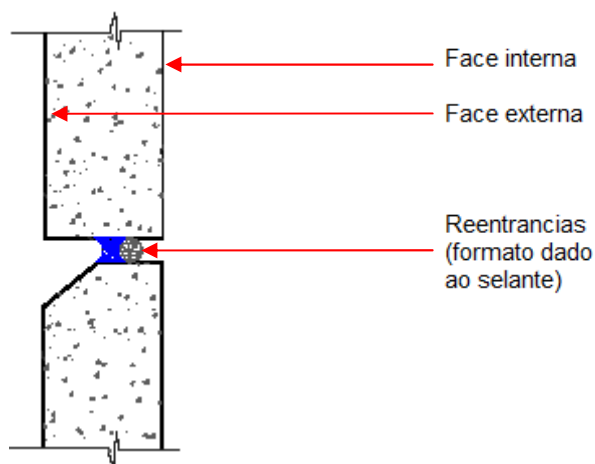


Figura 54 - Juntas horizontais - Corte ortogonal ao plano do painel (Adaptada do PCI, 1989)

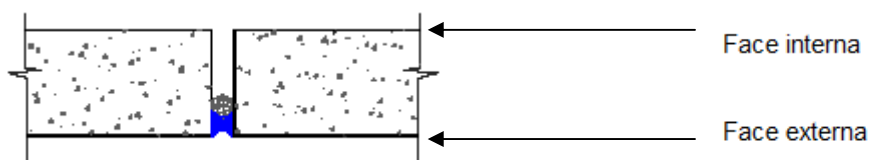


Figura 55 - Juntas verticais – Corte horizontal (Adaptada do PCI, 1989)

De realçar algumas desvantagens neste sistema de juntas, como é o caso, de alguma falha no selante, pode levar a que a água penetre, por pressão diferencial ou por capilaridade, no interior do edifício, isto porque a geometria da junta não colabora para no desvio da água. Outra desvantagem é o facto de o selante estar sujeito a agentes de deterioração atmosféricos como a humidade, raios ultravioletas ou variações de temperaturas, entre outros. Relativamente às juntas de dois estágios, estas funcionam através do princípio de criar uma defesa para a água de precipitação, por intermédio de sua própria geometria, isto é, estão sobrepostas e têm a presença de selantes em uma ou duas bordas e apresentam duas linhas de defesa a favor da estaquidade à água de chuva e ao ar, como ilustra a seguinte figura (PCI, 1989).

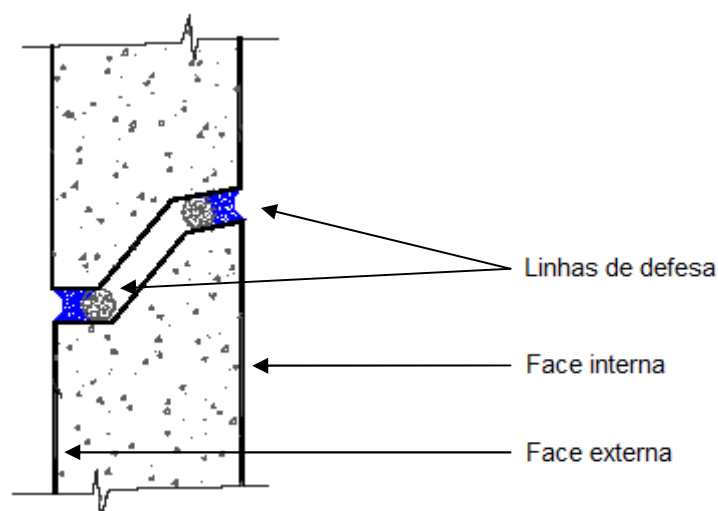


Figura 56 - Corte ortogonal ao plano do painel (Adaptada do PCI, 1989)

Realça-se também para as juntas de dois estágios apresenta algumas desvantagens, como é o caso de um grande cuidado na fase de montagem, evitando quebras, devido ao facto das quinas estarem mais vulneráveis. Outras desvantagens prendem-se com a dificuldade de aplicar o material selante, principalmente, na superfície interior do elemento, assim como em fase de manutenção. Concluimos, que os tipos de juntas são função da sua classificação: vertical ou horizontal, sobrepostas ou justapostas, de um ou dois estágios. O desempenho está também condicionado por uma maior ou menor estanquidade à água e ao ar e uma maior ou menor capacidade de absorver deformações. Apresenta-se de seguida um quadro de apoio ao dimensionamento das juntas, quer em largura, quer em profundidade, em função da largura dos painéis (PCI, 1989).

Quadro 5- Dimensionamento de Juntas (PCI, 1989)

Largura da Unidade (m)	Largura mínima nominal da junta (mm)	Profundidade mínima da junta (mm)
1,80	12	8
2,40	12	8
3,60	14	8
4,80	15	10
6,00	16	10

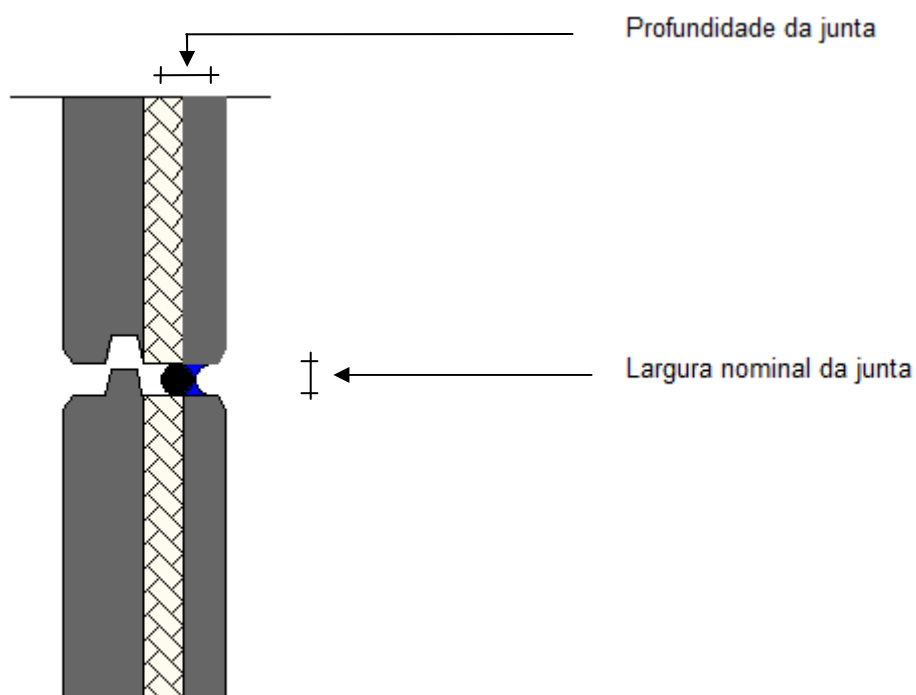


Figura 57 - Representação de corte de largura e profundidade da junta

Note-se que os produtos apresentados neste capítulo são meramente a título de exemplo, sendo que o tipo de produto a utilizar é função de diversos aspectos ambientais, construtivos, exposição solar, resistência ao fogo entre outros e como tal deve ser sempre especificado um produto adequado ao edifício, à sua utilização e localização.

6. EXIGÊNCIAS DE SEGURANÇA

6.1 Comportamento Estrutural

A metodologia de cálculo dos painéis de fachada em betão pré-fabricado de forma geral, difere em função da configuração do painel.

Para o caso específico de painéis sanduíche em betão armado (de acordo com o caso de estudo), estes estão sujeitos a forças verticais e a forças horizontais. Assim sendo, um painel de fachada do tipo sanduíche pode ser comparado a uma viga, aquando da consideração das forças verticais e podemos comparar o painel a uma laje para consideração das forças horizontais. Ao nível de dimensionamento o painel sanduíche, é constituído por uma lâmina exterior, lâmina interior e núcleo central. Assim sendo, utiliza-se a lâmina exterior, para a resistência às solicitações.

6.1.1 Dimensionamento para as acções horizontais

No dimensionamento para as acções horizontais o painel deve ser dimensionado para a acção do vento e ser dimensionado e pormenorizado como se de uma laje se tratasse.

6.1.2 Dimensionamento para acções verticais

No caso das acções verticais os painéis devem ser dimensionados para o seu peso próprio, tendo em consideração as condições de apoio. Um aspecto relevante é a quantificação da armadura mínima, não sendo razoável utilizar a expressão 9.1N do Eurocódigo 2, dadas as dimensões da secção transversal do painel (altura x espessura) mas sim a alternativa na nota 2 da secção 9.2.1.1 do Eurocódigo 2, isto é, as secções com uma quantidade de armaduras inferior a $A_{S,min}$ deverão considerar-se como não armadas, conforme descrito na secção 12 do Eurocódigo 2, ou seja, estruturas de betão simples ou fracamente armado.

6.2 Ligações

O princípio de funcionamento dos painéis sanduíche consiste em uma lâmina interna, com a função estrutural, um núcleo que constitui o isolamento térmico e por fim a lâmina exterior. Estas lâminas são unidas através de ligações. Exceptuando os critérios mecânicos, as ligações entre lâminas devem cumprir uma série de requisitos em relação à resistência, ductilidade e durabilidade. De seguida, descrevem-se os sistemas de ligações através de conectores especiais e de armaduras diagonais entre as camadas.

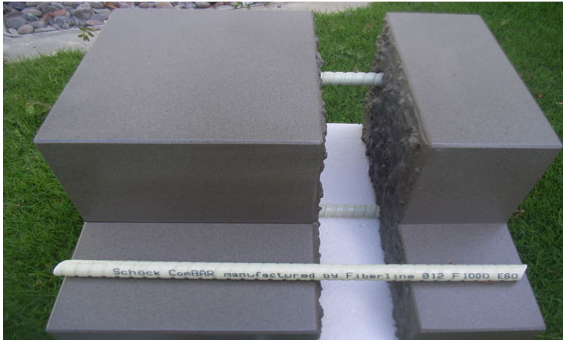


Figura 58 - Ligação entre as lâminas com conectores em fibra de vidro (Catálogo Shoeck, 2011)



Figura 59 - Ligação modelo *Thermomass*

Os sistemas de conectores são normalmente constituídos por espaçadores, conectores de apoio e conectores de torção. Os conectores de apoio, que está ilustrado nas figuras, têm como funcionalidade suportar a acção do vento e a lâmina externa de betão. Os conectores de torção são utilizados, quando os conectores na direcção transversal não contêm rigidez suficiente. Os espaçadores têm a função de oferecer resistência às acções horizontais e estabelecer a correcta distância entre as duas lâminas de betão, sem colocar limitações aos movimentos laterais (Van Acker, 2003).

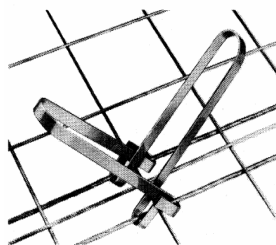


Figura 60 - Conectores de Torção (Van Acker, 2003)

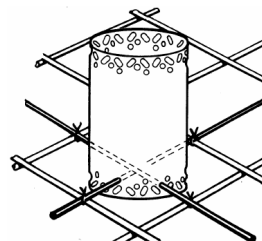


Figura 61 - Conectores de Apoio (Van Acker, 2003)

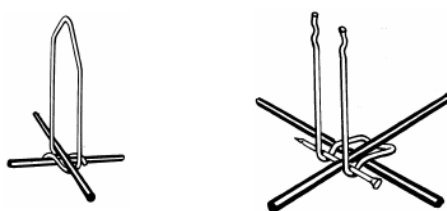


Figura 62 - Espaçadores (Van Acker, 2003)

Os conectores são por norma utilizados em painéis sanduíche em que as lâminas distam no máximo 100 mm. Os fabricante normalmente tem catálogos com as directrizes para projecto e aplicação em painéis do tipo sanduíche. A armadura diagonal entre lâminas de betão é normalmente utilizada para camadas de isolamento térmico com a espessura superior a 100 mm. As armaduras de estribos diagonais podem ser em fibra de vidro ou em aço inoxidável e são dispostas na posição vertical em intervalos rectangulares de 600 mm até 1200 mm, em função do peso próprio da lâmina de betão e da resistência da armadura. Também podem ser utilizadas barras complementares em madeira ou alumínio, sendo a madeira bastante utilizada nos países nórdicos, funcionando como cofragem, colocadas no perímetro do painel, fortalecendo a ligação entre as duas lâminas de betão e garantindo um comportamento conjunto (Van Acker, 2003).

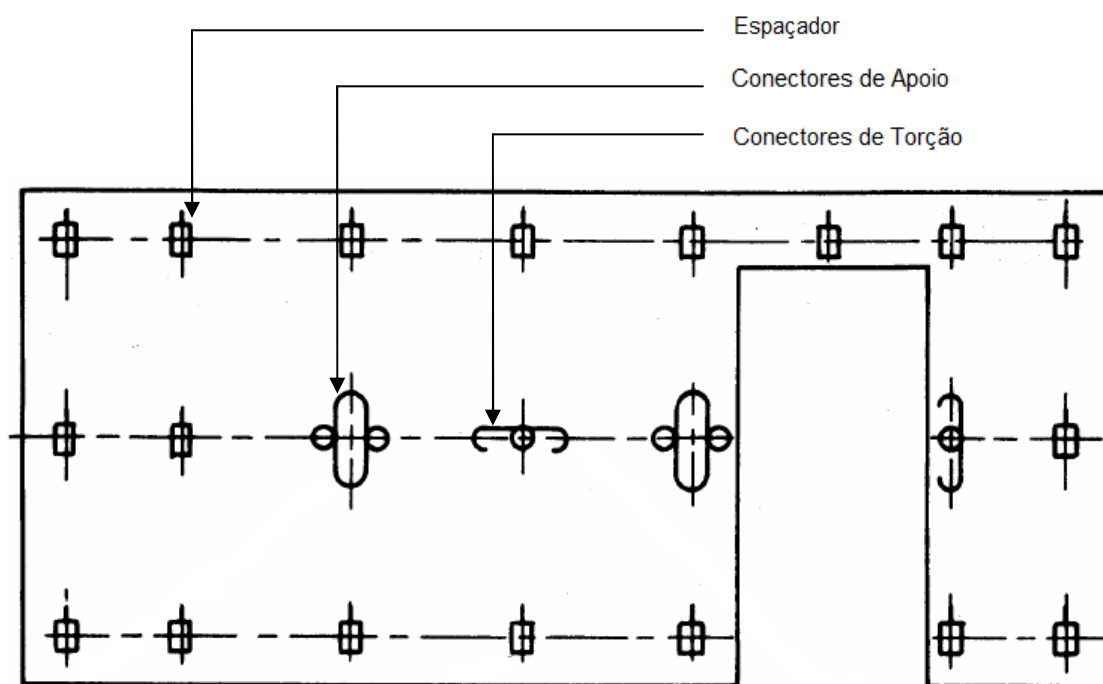


Figura 63 - Tipo de Conectores no painel de sanduíche (Adaptado do FIB, 2011)

Apresenta-se na figura seguinte, o sistema utilizando barras complementares em alumínio, produzido pela empresa BS Itália. De referir que este sistema tem o inconveniente de ter pontes térmicas.



Figura 64 – Conectores em perfil de alumínio e armadura com rede electrosoldada (Catálogo BS Itália, 2011)



Figura 65 - Barra complementar (Catálogo BS Itália, 2011)

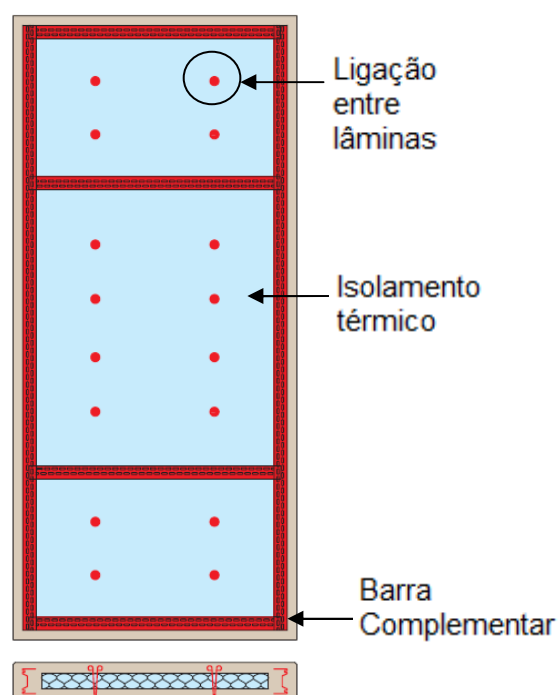


Figura 66 - Barra complementar com ligações (Adaptada do Catálogo BS Itália, 2011)

Neste sistema de ligações entre lâminas para painéis de fachada em betão, tem a capacidade de absorver as deformações devido à retracção do betão das duas lâminas e devido à expansão térmica (Van Acker, 2003).

A empresa Halfen, disponibiliza diversos produtos na área de painéis de fachada em betão. Apresenta-se de seguida dois tipos de ligações comercializados por esta empresa. O primeiro sistema de ligação, modelo SPA, permite suportar o peso da superfície exterior, transmitindo-a à lâmina interior através do isolante. Estas ligações são em aço inoxidável (Catálogo Empresa Halfen, 2011). O segundo sistema de ligação comercializado por esta empresa, modelo DEHA é constituído por ligações portantes cilíndricas ou planas e acessórios de ligação de retenção (cavilhas de ligação, cavilhas de suporte com extremidade ondulada ou estribos de suporte). Este sistema é especialmente adequado para unidades de grandes dimensões. Sendo utilizado uma única fixação portantes necessária por painel e a capacidade de carga é igual em todas as direcções.

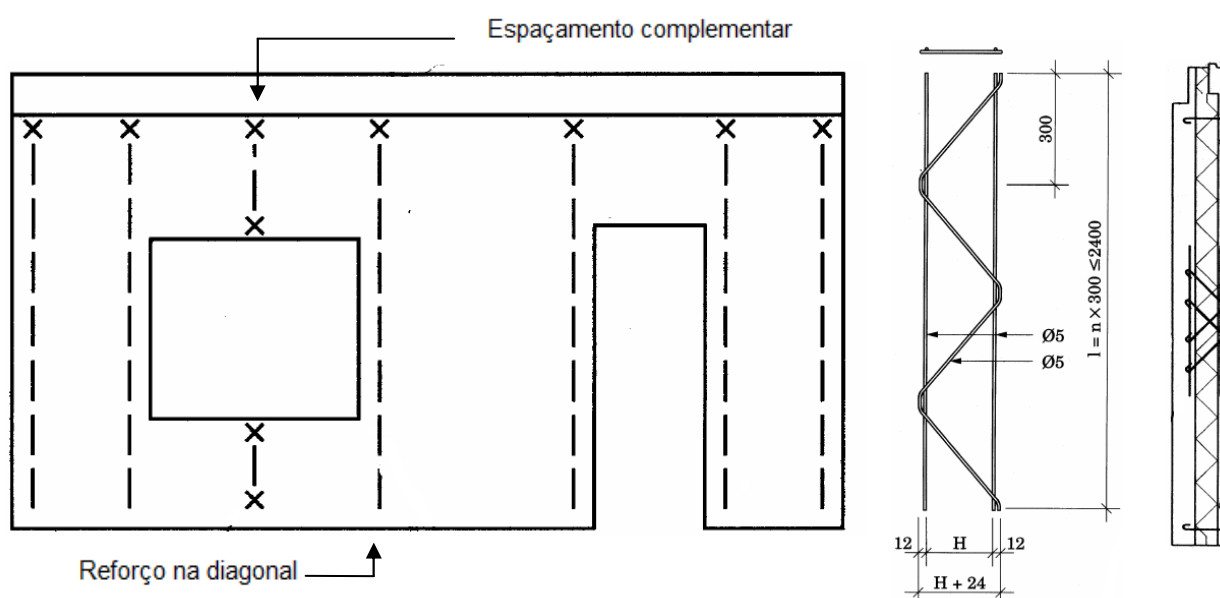


Figura 67 - Ligação através de armaduras (Adaptado do FIB, 2011)



Figura 68 - Ligador Modelo Spa (Catálogo Empresa Halfen, 2011)

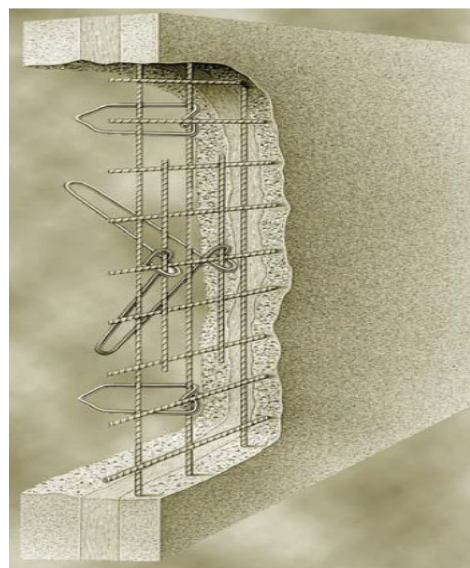


Figura 69 - Pormenor Ligação Modelo Spa Conectores de Apoio (Catálogo Empresa Halfen, 2011)



Figura 70 - Ligador Modelo DEHA (Catálogo Empresa Halfen, 2011)

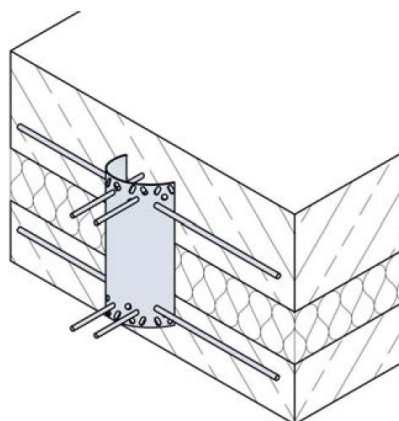


Figura 71 - Pormenor Ligação Modelo DEHA (Catálogo Empresa Halfen, 2011)

De seguida analisam-se, dois produtos de ligações entre painéis de betão: Ligação através de armadura em fibra de vidro da empresa Shoeck (Catálogo Shoeck, 2011); Ligação em *Thermomass* da Empresa Construction System market (Catálogo Constructions Systems Marketing, 2012).

Relativamente às ligações através de conectores em fibra de vidro e analisando um estudo realizado pela empresa alemã Shoeck, verifica-se que a condutibilidade térmica das ligações em fibra de vidro é semelhante a um isolamento térmico, ou seja, $\lambda = 0,50 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$, eliminando por completo quaisquer pontes térmicas.

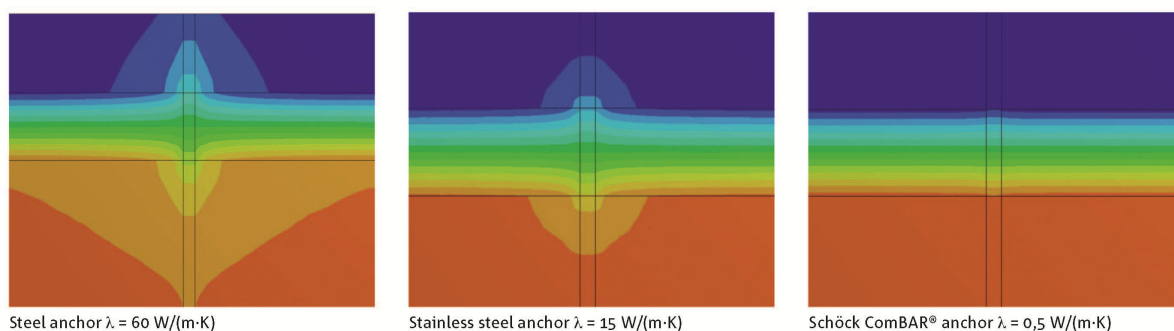


Figura 72 - Análise condutibilidade térmica aço e fibra de vidro (Catálogo Shoeck, 2011)

As vantagens face ao aço são evidentes, tendo apenas como desvantagem o factor económico. O aço apresenta como grande desvantagem as pontes térmicas apresentadas. Em relação às ligações em fibra de vidro, a empresa Shoeck disponibiliza diâmetros de 8 mm a 32 mm, assegurado uma força de tracção superior a 1000 MPa e um módulo de elasticidade na ordem dos 60 GPa (Catálogo Shoeck, 2011).

Já as ligações em *Thermomass* da Empresa Construction System Market, também com excelente desempenho face às soluções tradicionais, asseguram uma força de tracção superior a 840 MPa e um módulo de elasticidade na ordem dos 49,6 GPa, apresentando um coeficiente de transmissão térmica na ordem dos $\lambda = 0,303 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$. Apresenta-se de seguida uma figura com a análise térmica do produto (Catálogo Construction System marketing, 2011).

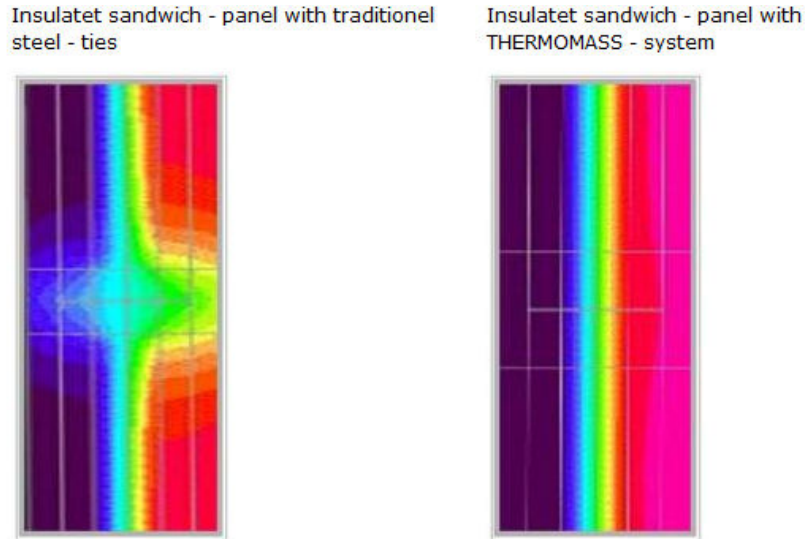


Figura 73 - Características térmicas dos conectores (Catálogo Construction System Marketing, 2011)

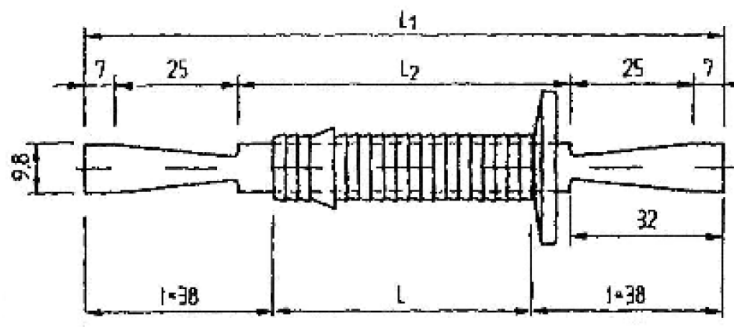


Figura 74 - Dimensões do conector *Thermomass* (Catálogo Construction System marketing, 2011)

6.3 Fixações

Num projecto de painéis de betão pré-fabricado em sanduíche, as ligações do painel à estrutura do edifício são dos pontos mais importantes, tanto para o processo de produção, quanto para o comportamento em obra. Os fixadores são dispositivos que promovem a interacção entre a estrutura e o painel e garantem a segurança estrutural. As fixações devem ser projectadas tendo em conta vários pontos que condicionam o seu desempenho, como aspectos de construção, de segurança estrutural e de durabilidade. Os dispositivos de fixação têm como objectivo suportar forças devido ao vento, suportar o peso próprio do painel, e absorver algumas deformações diferenciais. A finalidade das fixações é garantir a transferência de cargas do painel para a estrutura de suporte, absorvendo as deformações diferenciais entre a estrutura e os painéis, de forma a assegurar a estabilidade do conjunto. Como tal, entende-se que os dispositivos de fixação devem garantir o seu desempenho nos seguintes pontos:

Ductilidade: resistência à deformação plástica sem perda da sua resistência.

Resistência mecânica: resistência às movimentações diferenciais painel - estrutura de suporte, força do vento, variações volumétricas do painel e peso próprio do painel.

Resistência à corrosão: resistência à corrosão do material de fixação, de forma a garantir durabilidade.

Os materiais utilizados nos elementos de fixação são os metais, devido às suas propriedades de ductilidade e resistência mecânica. O mercado apresenta uma enorme variedade de metais, com algumas diferenças entre eles, nomeadamente a sua composição, sendo mais ou menos propícios à corrosão. Os materiais que podem ser utilizados são: aço inoxidável, o aço patinado e o aço carbono que pode ser revestido por galvanização ou electrodeposição de metais como o zinco. Normalmente o painel é fixado por quatro pontos, dos quais dois pontos funcionam para suporte vertical e os outros dois pontos têm a função de suportar as forças laterais e deformações diferenciais entre os painéis e a estrutura. Desta forma, em função do objectivo da fixação, estas são subdivididas em três tipos (Van Acker, 2003):

Quadro 6 - Quadro resumo do tipo de fixações (FIB, 2011)

Tipo de Fixação	Objectivo da Fixação	Forma de Fixação
Fixações de alinhamento	<ul style="list-style-type: none"> - Contribuir para o alinhamento do painel na montagem. - Impedir o deslocamento relativo, entre os painéis. 	<ul style="list-style-type: none"> - Soldada - Aparafusada
Fixações de apoio vertical	<ul style="list-style-type: none"> - Assegurar a transmissão do peso próprio para a estrutura de suporte. - Impedir o deslocamento relativo, entre os painéis. 	<ul style="list-style-type: none"> - Soldada - Aparafusada
Fixações de apoio lateral	<ul style="list-style-type: none"> - Assegurar a transmissão das forças horizontais devidas à acção do vento - As fixações de apoio lateral, grande parte das vezes são projectadas para funcionarem como fixações de alinhamento 	<ul style="list-style-type: none"> - Soldada - Aparafusada



Figura 75 - Fixação deslizante

6.3.1 Tipos de Fixações

- **Fixações de alinhamento**

As fixações de alinhamento têm como objectivo, contribuir para o alinhamento entre painéis na montagem e impedir o deslocamento relativo a painéis consecutivos (Van Acker, 2003). Esta forma de fixação pode ser soldada ou aparafusada.

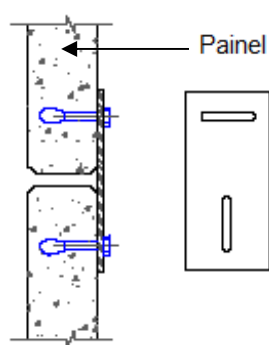


Figura 76 – Corte horizontal de uma ligação macho aparafusada (Adaptada do PCI, 1989)

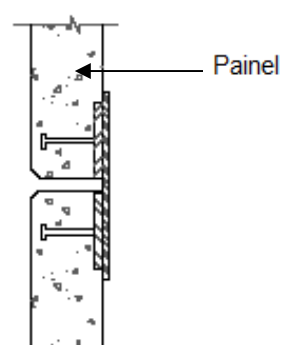


Figura 77 - Corte horizontal de ligação macho soldada (Adaptada do PCI, 1989)

- **Fixações de apoio vertical**

As fixações de apoio vertical, têm a responsabilidade de assegurar a transmissão do peso próprio do painel para a estrutura de suporte. Esta forma de fixação pode ser soldada ou aparafusada (Van Acker, 2003).

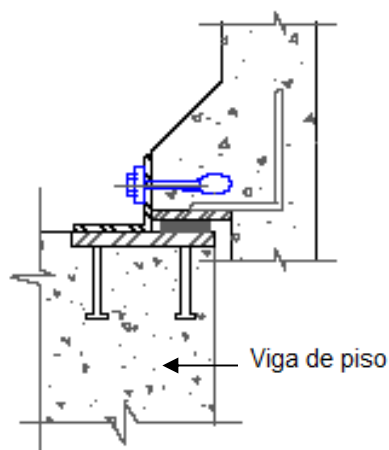


Figura 78 - Fixações de apoio vertical em corte vertical (PCI, 1989)

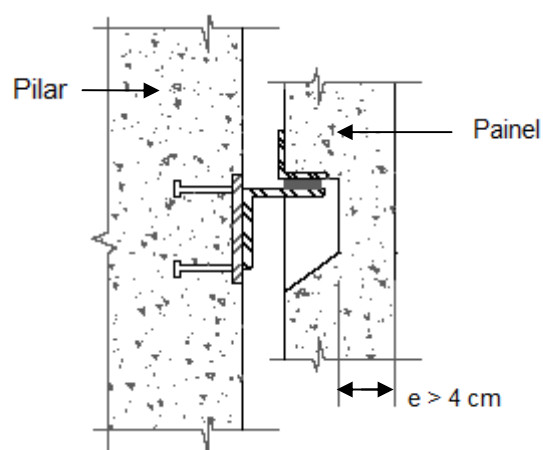


Figura 79 - Fixações de apoio vertical em corte vertical (Adaptada do PCI, 1989)

- **Fixações de apoio lateral**

As fixações de apoio lateral têm a finalidade de assegurar a transmissão das forças horizontais devidas à acção do vento. Esta forma de fixação pode ser soldada ou aparafusada (Van Acker, 2003).

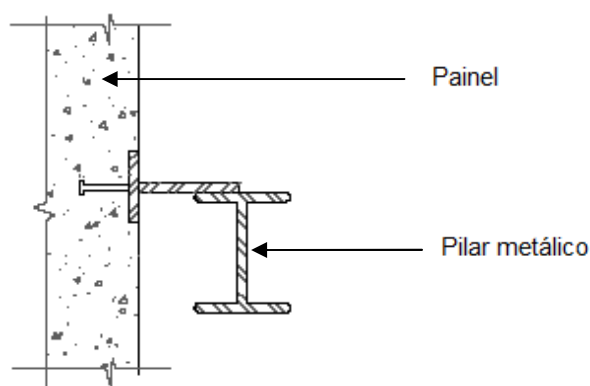


Figura 80 – Fixação soldada de apoio lateral, em corte horizontal (PCI, 1989)

As fixações de apoio lateral, por vezes são projectadas para funcionarem como fixações de alinhamento.

6.3.2 Formas de Fixação

- **Fixações aparafusadas**

Quadro 7 - Quadro resumo de tipos de fixações aparafusadas (FIB, 2011)

Fixações aparafusadas	Pré-ancorados	Internos
		Externos
	Pós-ancorados	

As fixações aparafusadas, são dispositivos práticos e simples, a sua utilização tem como vantagem a rapidez de execução na montagem dos painéis. Vantagem esta, que advém do facto da fixação ser executada logo após a sua colocação no local definitivo. Outra vantagem, decorre de os alinhamentos e ajustes poderem ser realizados numa fase posterior, sem existirem preocupações com a mobilização das gruas de montagem (Van Acker, 2003).

Assim sendo, o sistema de fixações aparafusadas, pode ser subdividido em dois grupos:

- Dispositivos pré-ancorados: são instalados nos painéis antes da betonagem.
- Dispositivos pós-ancorados: são inseridos nos painéis após a betonagem.

Neste sentido, dividimos os dispositivos pré-ancorados em dois tipos:

- Internos: são em forma de presilhas, abertas ou fechadas e são ancorados ao betão.
- Externos: são em forma de haste ou parafuso e serão aparafusados nessas presilhas.



Figura 81 - Dispositivos metálicos pré-ancorados (FIB, 2011)

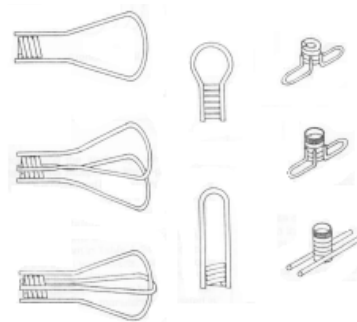
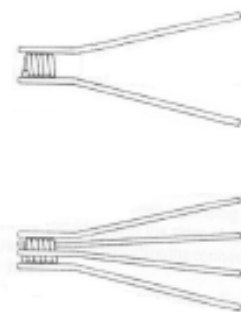


Figura 82 - Dispositivos metálicos pré-ancorados (FIB, 2011)

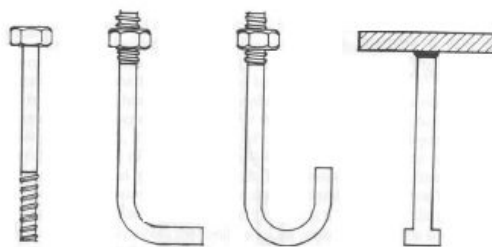


Figura 83 - Dispositivos metálicos pré-ancorados (FIB, 2011)

Do ponto de vista construtivo, é recomendado que os meios de fixação pré-ancorados, internos, devam ter 75 mm no mínimo de afastamento e uma profundidade mínima de 75 mm (Taylor, 1992).

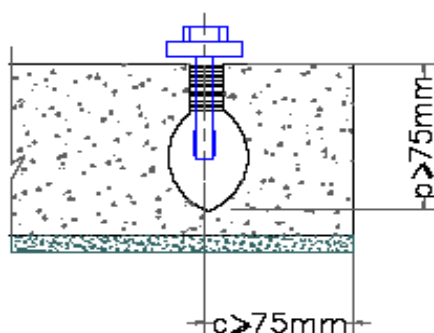


Figura 84 - Dimensões de ancoragem mínima de fixação pré-ancorados, internos (Taylor, 1992)

Os dispositivos pós-ancorados são inseridos nos furos realizados através de brocas. A estes meios de fixação dá-se o nome de buchas de expansão mecânica e servem para suportar forças de tracção, acima de tudo de corte (FIB, 2011).

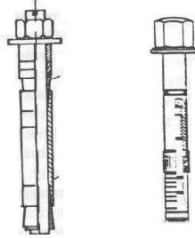


Figura 85 - Buchas de expansão mecânica (FIB 2011)

- **Fixações soldadas**

Os dispositivos de fixações soldadas têm como vantagens o seu fácil ajuste às diversas situações e a sua eficiência. Nestes meios de fixação, a durabilidade da solda dura e o desempenho estrutural depende da compatibilidade entre os materiais utilizados que serão soldados e da formação dos meios humanos. A soldadura é um factor de extrema importância, como tal, devem ser especificados e mencionados em projecto diversos critérios específicos, como: dimensões, localização, resistência, tipo de eléctrodo, tipo de solda dura, aquecimento mínimo e, se crítico, a sequência de soldagem. A soldadura em obra é cara, difícil de executar e o seu controlo de qualidade é complicado, pelo que deve ser evitada.

7. CASO DE ESTUDO

7.1 Descrição do Caso

O caso em análise da presente dissertação, consiste num estudo de um painel de fachada sanduíche em betão pré-fabricado tendo em consideração o comportamento térmico e estrutural. O comportamento térmico do presente painel sanduíche irá ser estudado tendo em conta diversos aspectos construtivos do elemento, assim como as possíveis pontes térmicas que o painel possa apresentar. Ainda neste ponto, o estudo desenvolve-se, em três situações distintas: ligações entre faces realizadas com aço; faces do painel ligadas com dispositivos em fibra de vidro; ligações a cargo de conectores tipo *Thermomass*.

A análise do painel sanduíche em termos de comportamento estrutural, diz respeito à verificação dos estados limites últimos da flexão e esforço transversal do painel composto por uma face exterior, uma face interior e isolamento térmico no núcleo central. O betão será da classe C30/37, o aço um A500 NR e o isolamento térmico será em XPS. O caso em análise, diz respeito à obra do edifício da Segurança Social, localizado em Évora.

7.2 Geometria

O painel tem uma geometria rectangular com uma altura de 2,27 m, um comprimento de 4,99 m e uma espessura do painel de 0,19 m. A lâmina interior apresenta uma espessura de 0,08 m, a lâmina exterior tem uma espessura de 0,05 m e isolamento térmico do material XPS representa 0,06 m. De seguida, apresenta-se duas figuras sem escala ilustrativas do painel sanduíche do caso de estudo, a imagem encontra-se devidamente cotada em metros.

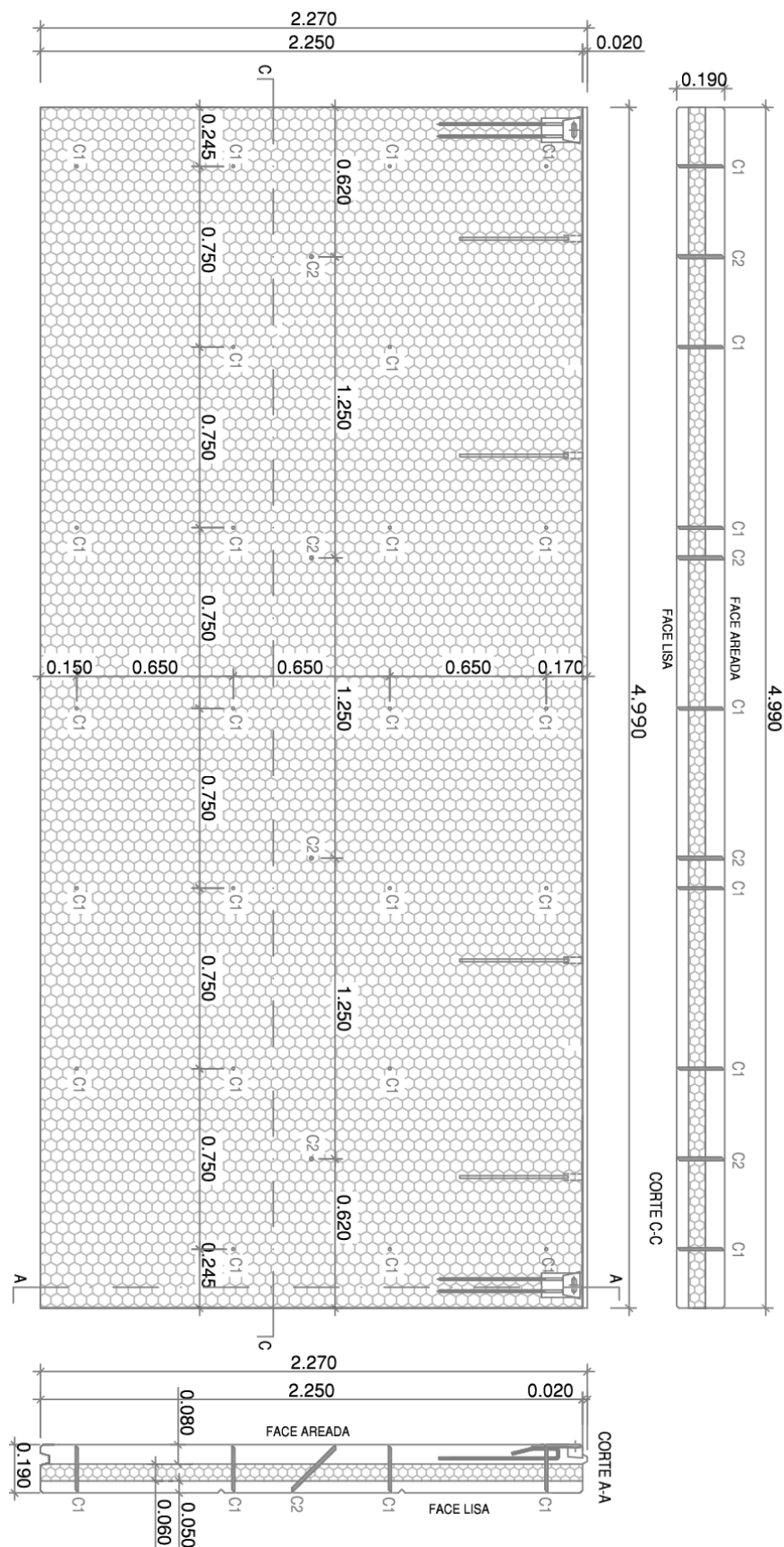


Figura 86 - Geometria Painel com conectores em fibra de vidro e Aço (sem escala) (Adaptada de Concremat, 2011)

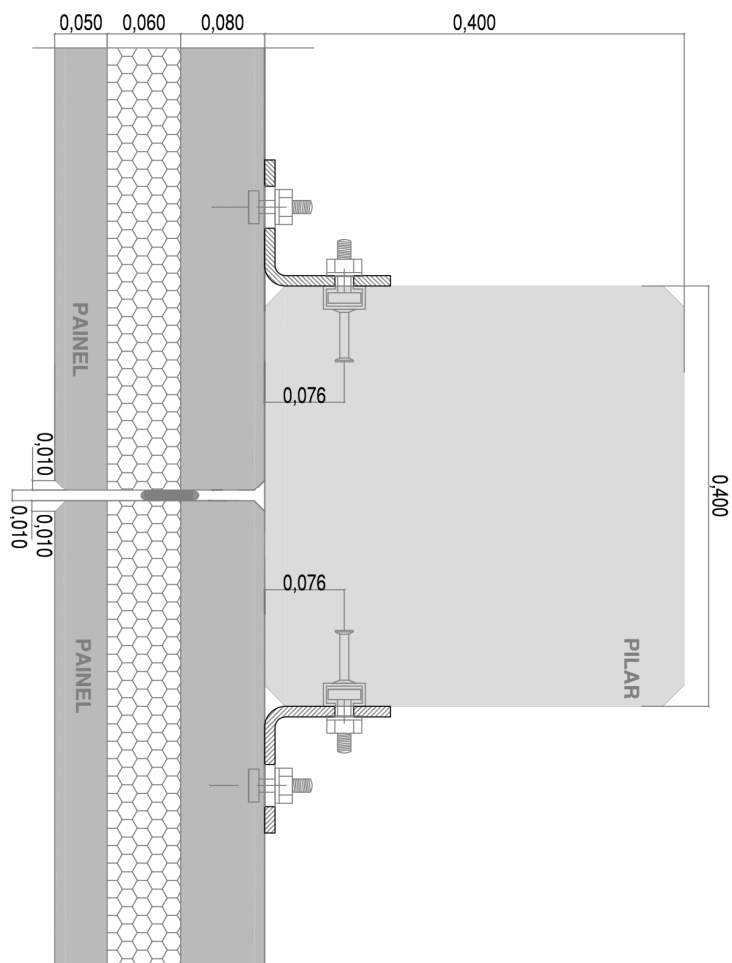


Figura 87 - Dispositivo de Fixação – Jordahl k41/22 com 150 mm (sem escala) (Adaptada de Concremat, 2011)

7.3 Comportamento Estrutural

7.3.1 Dimensionamento para as acções verticais

- Estado Limite Último

Materiais

Betão: C30/37

Aço: A500NR

$$f_{ctm} = 2,90 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{yd} = 2,18 \times 10^{-3}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \Leftrightarrow f_{cd} = \frac{30}{1,5} \Leftrightarrow f_{cd} = 20 \text{ MPa}$$

(7.1)

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \Leftrightarrow f_{yd} = \frac{500}{1,15} \Leftrightarrow f_{yd} = 435 \text{ MPa} \quad (7.2)$$

Propriedades da Secção

Base= b= 0,08 m

Altura= h= 2,25 m

Acções

Cargas Permanentes (CP)

Peso próprio da face interior (betão armado)

$$P.P. = b \times h \times \gamma_{ba} = 0,080 \times 2,270 \times 25,000 = 4,54 \text{ kN/m} \quad (7.3)$$

Peso próprio da face exterior (betão armado)

$$P.P. = b \times h \times \gamma_{ba} = 0,050 \times 2,270 \times 25,000 = 2,84 \text{ kN/m} \quad (7.4)$$

Peso próprio do isolamento térmico (XPS)

$$P.P. = b \times \gamma_{xps} = 0,060 \times 3,600 = 0,22 \text{ kN/m} \quad (7.5)$$

$$\Sigma \text{ Peso Próprio} = 7,60 \text{ kN/m} \quad (7.6)$$

Combinação de Acções, Combinação Fundamental

Utilização do edifício: Habitação

$$\gamma_g = 1,35$$

$$\gamma_q = 1,50$$

$$P_{ed} = \gamma_g \times CP + \gamma_q \times Sob \Leftrightarrow$$

$$P_{ed} = 1,35 \times 7,60 + 1,5 \times 0,00 \Leftrightarrow P_{ed} = 10,25 \text{ kN/m}$$

(7.7)

Modelo de Cálculo

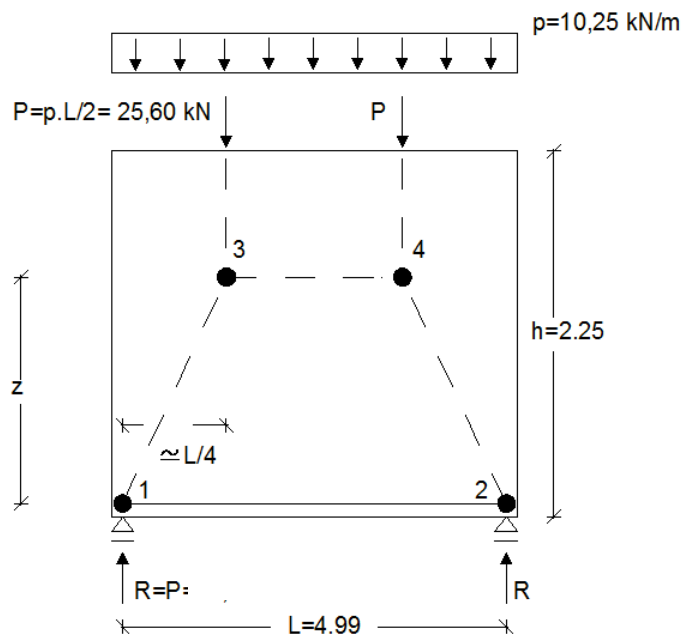
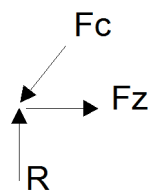


Figura 88 - Modelo de cálculo

Dimensionamento da Armadura Inferior

$$Z \approx 0,60 \cdot h = 1,35 \text{ m}$$

Equilíbrio do Nó 1:



$$F_t = \frac{R}{Z} \cdot \frac{L}{4} = \frac{25,60 \times \frac{4,99}{4}}{1,35} = 23,70 \text{ kN} \quad (7.8)$$

$$A_s = \frac{F_t}{F_{yd}} = \frac{23,70}{43,50} = 0,54 \text{ cm}^2 \quad (7.9)$$

No entanto, da nota da clausula 9.2.1.1(1) do EC2, tendo em conta os elementos secundários, $A_{s,min}$ poderá ser considerado 1.2 vezes a área requerida para o estado limite último.

Assim temos:

$$A_{s,min} = 1,2 \times 0,54 = 0,65 \text{ m}^2 \quad (7.10)$$

Considera-se

$$2\phi 8 (A_s = 1,01 \text{ m}^2)$$

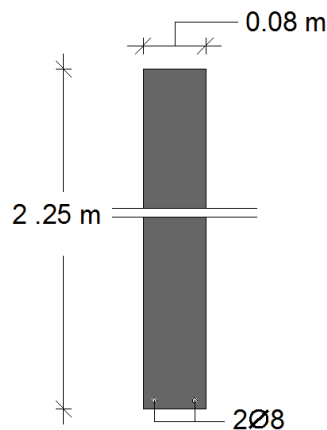


Figura 89 - Corte de painel sanduíche com armadura

Verificação das Escoras

As tensões de compressão no betão das escoras são muito baixas devido à grande largura das escoras, pelo que não é ultrapassado o valor limite da resistência à compressão do betão (Expressão 6.56 do EC2).

$$\sigma_{Rd} = 0,6 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \times f_{cd} = 0,6 \times \left(1 - \frac{30}{250}\right) \times 20 = 10,56 \text{ MPa} \quad (7.11)$$

Verificação dos Nós

Os nós 3 e 4 estão apenas sujeitos a compressão (nós ccc). Devido à grande dimensão destes nós, as tensões no betão são baixas, menores do que o limite (expressão 6.60 do EC2):

$$\sigma_{Rd} = 1,0 \times \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \times f_{cd} = 1,0 \times \left(1 - \frac{30}{250}\right) \times 20 = 17,60 \text{ MPa} \quad (7.12)$$

Os nós 1 e 2, apoios do painel para as forças verticais, fornecem duas compressões e uma tracção (CCT). A verificação da segurança entre nós está intimamente ligada à geometria do apoio. A dimensão do apoio será suficientemente grande para que as tensões de compressão no betão sejam desprezáveis.

Armadura nas Faces

Tratando-se de uma viga-parede, a pormenorização deverá ser efectuada de acordo com a secção 9.7 do EC2:

$$A_{S,db\min} = \left\{ \begin{array}{l} 0,1\% \cdot A_c = \frac{0,1}{100} \times 0,08 \times 10^4 = 0,8 \text{ cm}^2/\text{m} \\ 1,5 \text{ cm}^2/\text{m} \end{array} \right. \quad (7.13)$$

Esta armadura mínima deverá ser colocada em cada face e em cada direcção.

$$s \leq \left\{ \begin{array}{l} 2 \times e = 2 \times 80 \text{ mm} = 160 \text{ mm} \\ 300 \text{ mm} \end{array} \right. \quad (7.14)$$

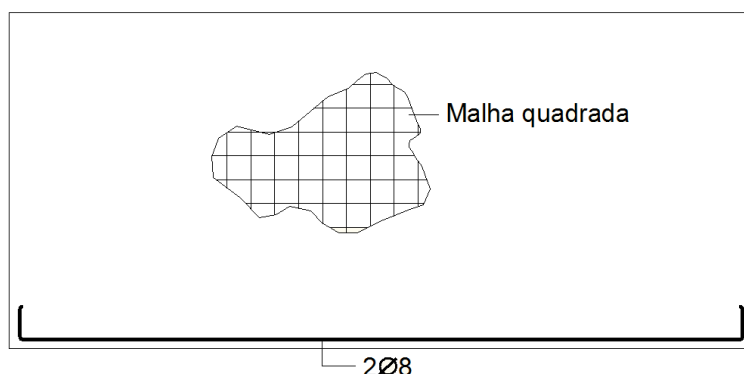


Figura 90 - Armadura de painel

- **Estado Limite Último de Flexão**

Propriedades da Secção

Base= $b = 0,080 \text{ m}$

Altura = $h = 2,250 \text{ m}$

Neste caso entra apenas a acção do vento.

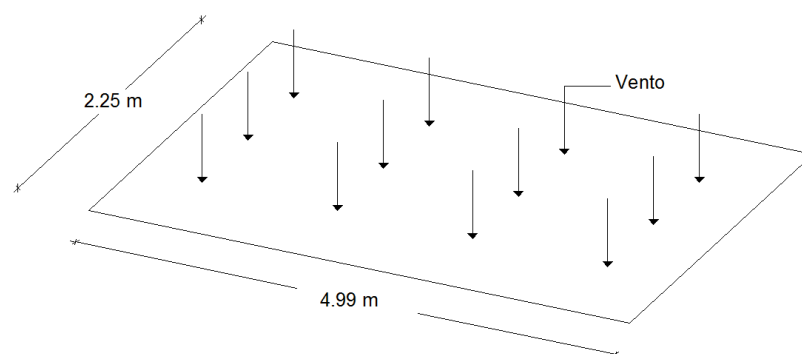


Figura 91 - Efeito do vento no painel

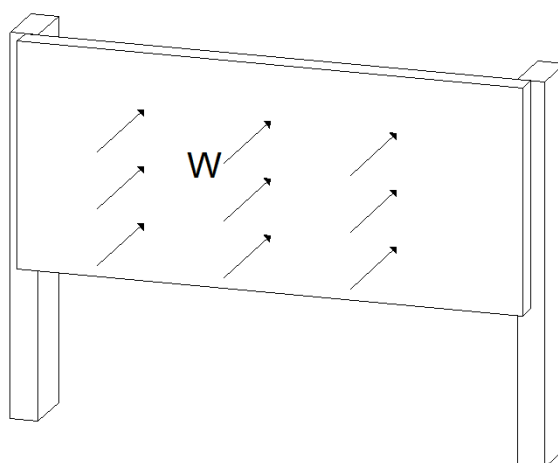


Figura 92 - Efeito do vento no painel

No caso de das acções horizontais podemos admitir que o painel é apoiado nos dois pilares.

Para efeitos do caso de estudo consideramos: $W_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$

Com:

$$\gamma_w = 1,5$$

$$W_d = W_k \times \gamma_k = 1,5 \text{ kN/m}^2 \quad (7.15)$$

Modelo de Cálculo

Considera-se o modelo de cálculo de uma laje apoiada em dois bordos opostos. Considerando que a armadura (só uma camada) estará a meio da espessura.

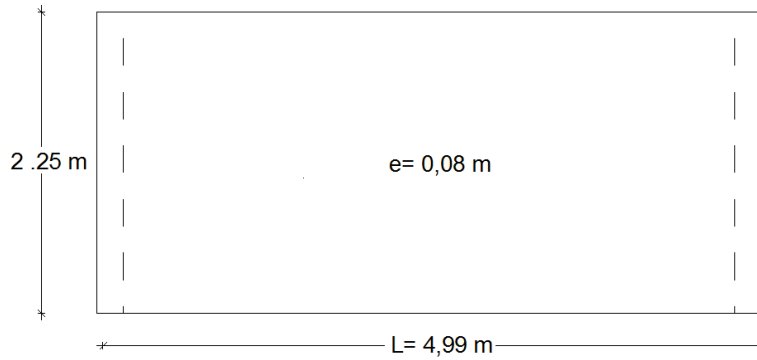


Figura 93 - Condições de apoio do painel

$$d = 0,08 / 2 = 0,04 \text{ m}$$

Cálculo de Armaduras

$$m_{ed} = W_d \times \frac{L^2}{8} = 4,65 \text{ kN.m/m} \quad (7.16)$$

$$\mu = \frac{m}{b \times d^2 \times f_{cd}} = \frac{4,65}{1 \times 0,04^2 \times 20 \times 10^3} = 0,145 \quad (7.17)$$

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2,0 \times \mu} = 1 - \sqrt{1 - 2,0 \times 0,0291} = 0,157 \quad (7.18)$$

$$A_s = \omega \times b \times d \times \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,157 \times 1 \times 0,04 \times \frac{20}{435} = 2,89 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s,min} = 0,26 \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \times b_t \times d \geq 0,0013 \times b_t \times d \Leftrightarrow \quad (7.19)$$

$$A_{s,min} = 0,60 \text{ cm}^2/\text{m} \geq 0,52 \text{ cm}^2/\text{m} \Leftrightarrow A_{s,min} = 0,60 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$v_{Ed} = W_d \times \frac{L}{2} = 3,74 \text{ kN/m} \quad (7.20)$$

$$v_{Rd} = 0,12 \times \left(1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \right) \times (100 \times \rho \times f_{ck})^{1/3} \times d > v_{Ed} \quad (7.21)$$

$$v_{Rd} = 4,93 \text{ kN/m} > v_{Ed} = 3,74 \text{ kN/m}$$

- Disposições construtivas relativas a lajes (Painéis)

Armadura principal mínima - EC2 9.3.1.1 (1)

A quantidade mínima de armadura principal a adoptar é dada pela expressão seguinte:

$$A_{s,min} = 0.26 \times \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \times b_t \times d \geq 0.0013 \times b_t \times d \Leftrightarrow \quad (7.22)$$

$$A_{s,min} = 0,60 \text{ cm}^2/\text{m} \geq 0,52 \text{ cm}^2/\text{m} \Leftrightarrow A_{s,min} = 0,60 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Em que:

f_{ctm} : valor médio da resistência à tracção do betão;

f_{yk} : valor característico da tensão de cedência do aço;

b: largura média da zona traccionada;

d: altura útil da armadura traccionada.

Armadura Principal Máxima - EC2 9.3.1.1 (1)

A quantidade de armadura, quer em zonas de tracção quer em zonas de compressão, excluindo as zonas de sobreposição, não deve exceder o valor expresso pela seguinte expressão:

$$A_{s,max} = 0.04 \times A_c \Leftrightarrow A_{s,max} = 32,00 \text{ cm}^2/\text{m} \quad (7.23)$$

Em que:

A_c : área da secção transversal do painel.

Armadura Mínima de Fendilhação

$$A_{s,min} = 0.4 \times h \times \frac{f_{ct,eff}}{f_{yk}} \Leftrightarrow A_{s,min} = 1,86 \text{ cm}^2/\text{m} \quad (7.24)$$

Espaçamento Máximo

Armadura Principal

$$2 \times h = 0,16 \leq 25 \text{ cm} \Leftrightarrow S_{max,P} = 25 \text{ cm} \quad (7.25)$$

Armadura de Distribuição

$$3 \times h = 0,24 \leq 40 \text{ cm} \Leftrightarrow S_{\text{max}, P} = 40 \text{ cm} \quad (7.26)$$

- **Controlo da Fendilhação - EC2 7.3.3**

O EC2 indica que no caso de Lajes (painéis pré-fabricados) de betão armado de edifícios, solicitadas à flexão sem tracção axial significativa, não são necessárias medidas específicas para controlar a fendilhação quando a espessura total da laje não é superior a 200 mm e se tenha respeitado as quantidades de armadura anteriormente indicadas. Assim sendo, como a espessura total da laje (painel) é de $h = 0.08 \text{ m}$ verifica-se que este valor se encontra enquadrado com o disposto no EC2.

7.3.2 Pormenorização do Painel

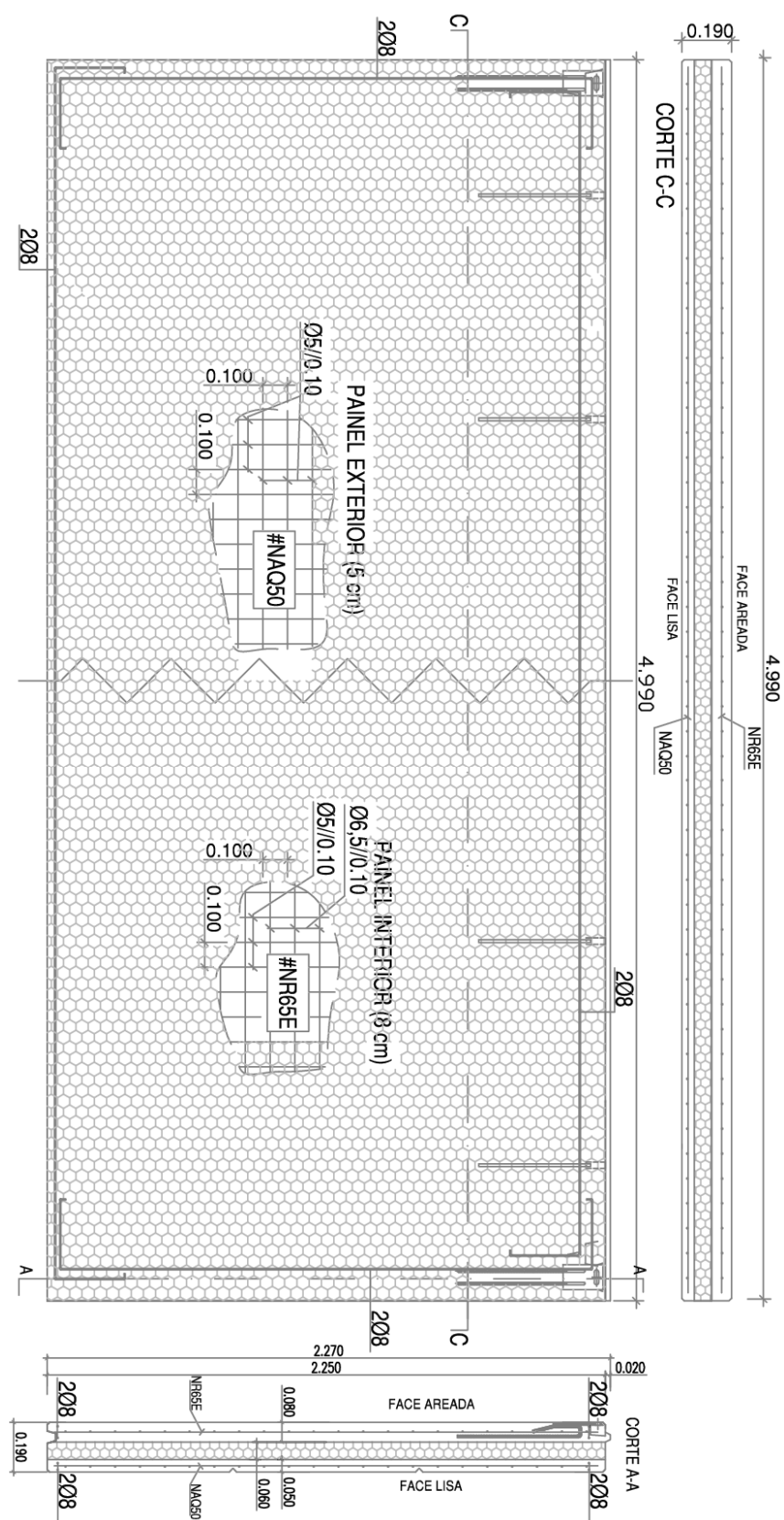


Figura 94 - Pormenorização do Painel (sem escala) (Adaptada de Concremat, 2011)

7.4 Comportamento Térmico

7.4.1 Constituição (Materiais)

Os materiais constituintes no caso de estudo são os já apresentados na secção 7.1 e 7.2, sendo que no presente ponto, irão ser definidas as características necessárias ao cálculo dos parâmetros termofísicos dos respectivos materiais. O estudo incide sobre a análise de três casos: ligações em aço, em fibra de vidro e em *thermomass*.

Quadro 8 - Especificações das ligações entre elementos do painel sanduíche

Especificações das Ligações Entre Elementos do Painel Sanduíche			
Elemento	Espessura (m)	Condutibilidade Térmica valor de cálculo λ (W / m. °C)	Resistência Térmica da Camada (W/m ² . °C)
Painel Sanduíche			
Lâmina Interior de Betão Armado	0,08	2,000	0,040
Isolamento Térmico de XPS	0,06	0,037	1,622
Lâmina Exterior de Betão Armado	0,05	2,000	0,025
Ligações em Aço			
Aço	0,190	50,000	0,004
Ligações em Fibra de Vidro			
Ligação de fibra de vidro	0,190	0,500	0,380
Ligações em <i>Thermomass</i>			
Ligação de <i>Thermomass</i>	0,136	0,303	0,449
Lâmina Interior de Betão Armado	0,012	2,000	0,006
Lâmina Exterior de Betão Armado	0,042	2,000	0,021
Juntas entre Painéis			
Mastique	0,016	0,500	0,032
Cordão de neoplene	0,016	0,230	0,070

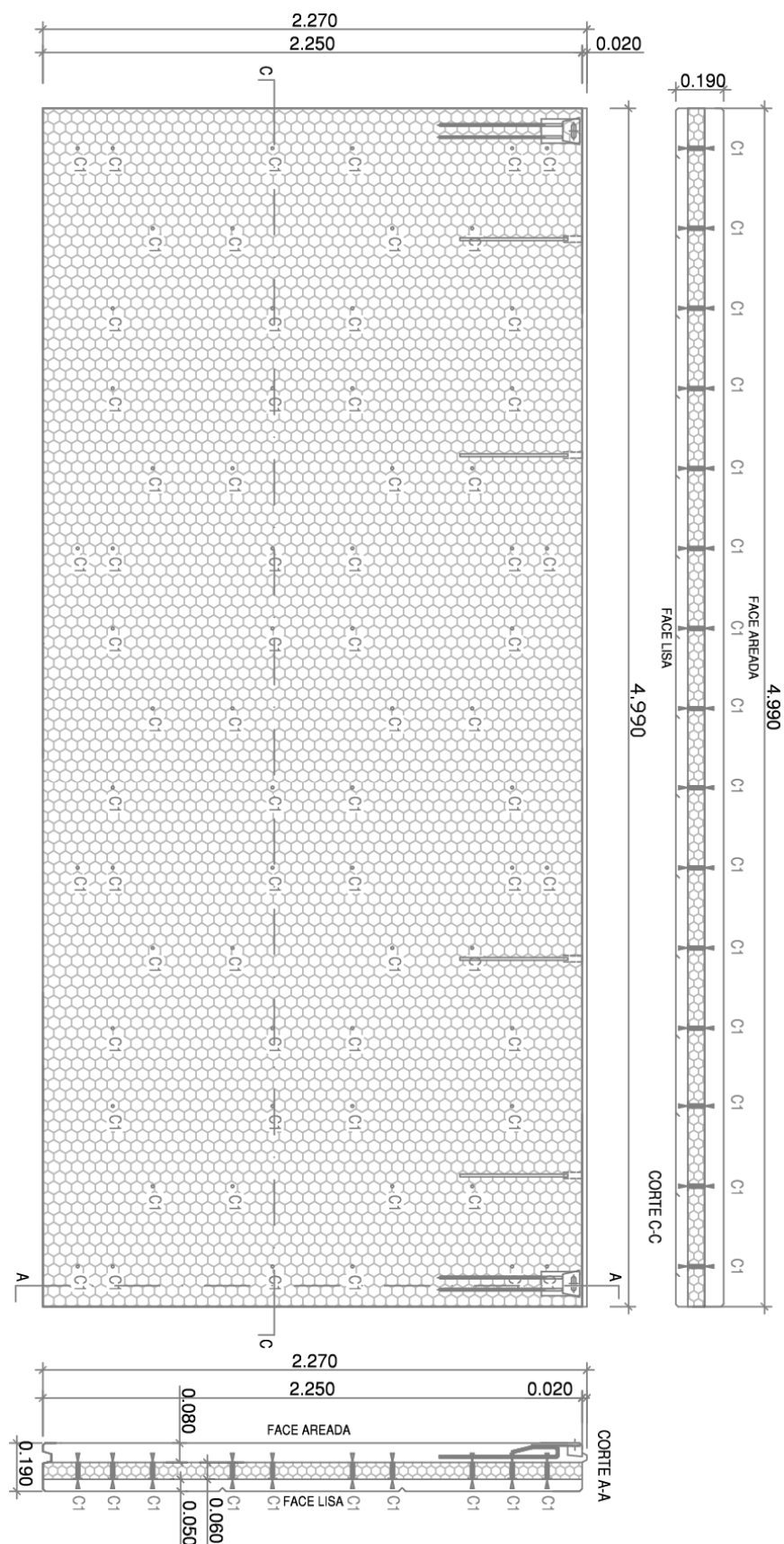


Figura 95 - Pannel em planta com conectores em *thermomass* (sem escala) (Adaptada de Concremat, 2011)

De seguida apresenta-se algumas figuras ilustrativas do edifício em estudo, nomeadamente uma figura da planta de implantação (figura 128). A figura 129 demonstra a área de influência considerada para efeitos de análise térmica. Já na figura 130 apresenta-se um corte da configuração da área de influência utilizada para efeitos de cálculo.

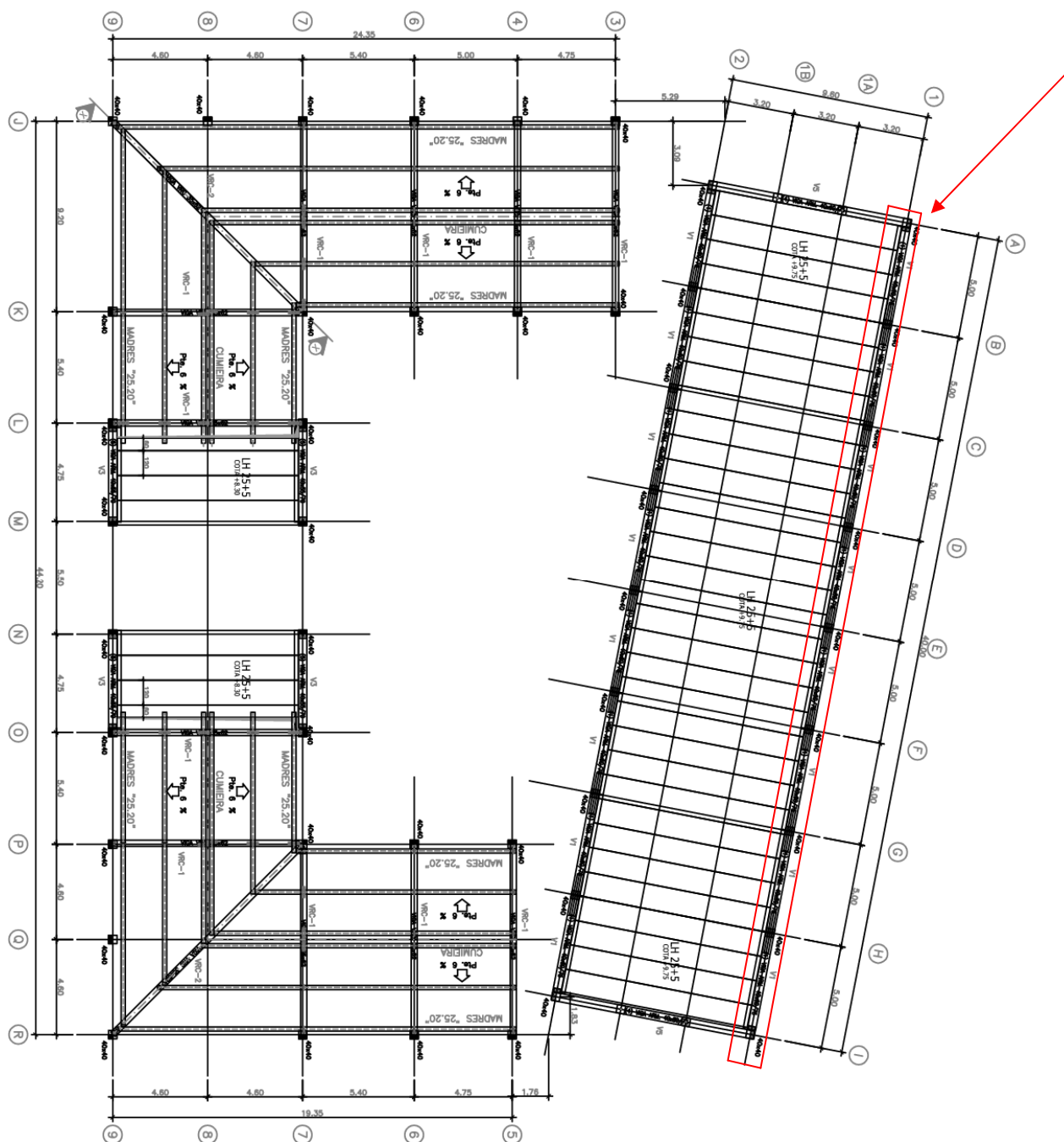


Figura 96 - Implantação (sem escala) (Adaptada de Concremat, 2011)

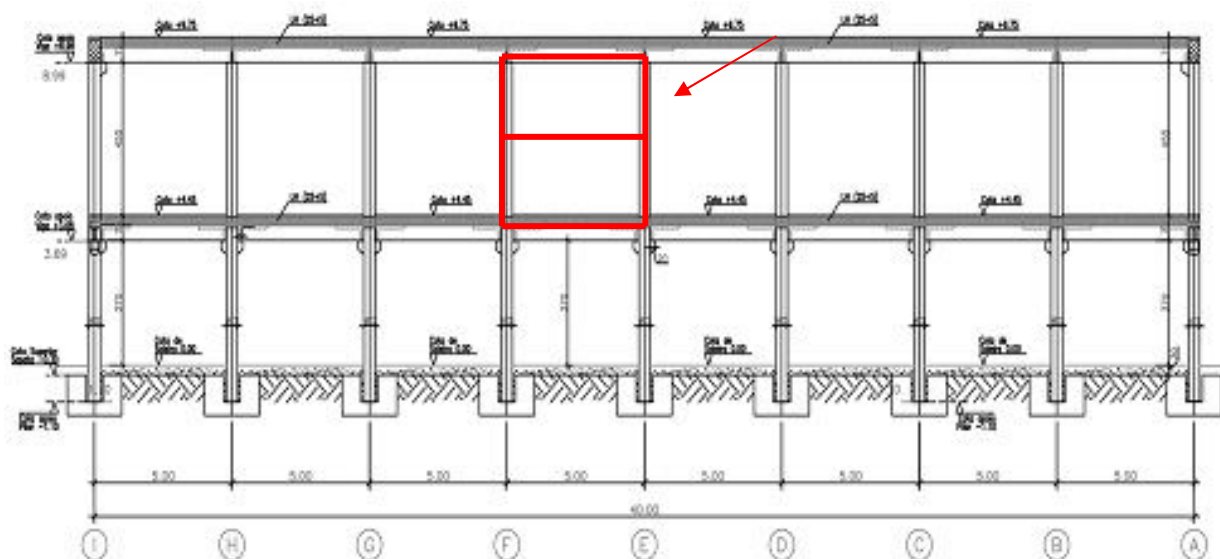


Figura 97 - Área de influência considerada para efeitos de análise térmica (sem escala) (Adaptada de Concremat, 2011)

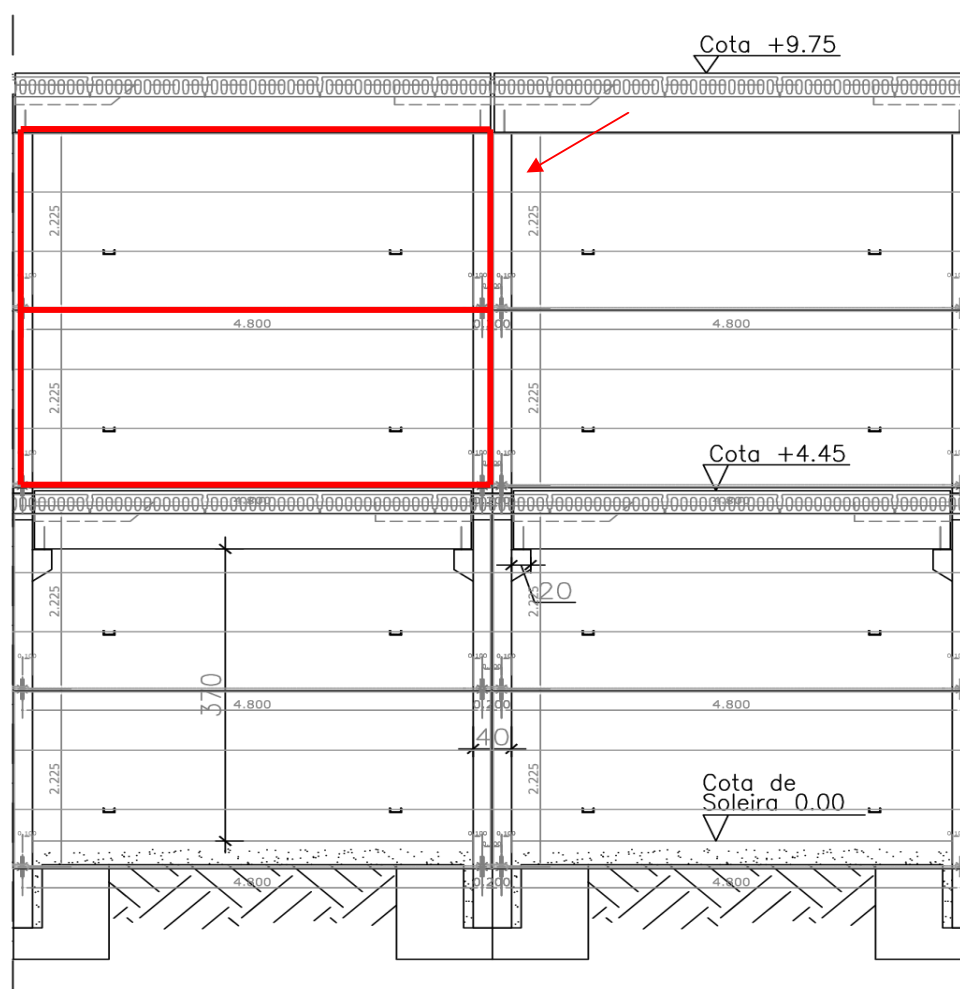


Figura 98 - Corte da configuração da área de influência (sem escala) (Adaptada de Concremat, 2011)

7.4.2 Cálculo do Coeficiente de Transmissão Térmica

Apresenta-se de seguida o cálculo do coeficiente de transmissão térmica do painel através da Norma ISO 6946:2007 (ponto 6.2).

- **Painel Sanduíche com Ligações em Aço**

Para as ligações de elementos em aço, apresenta-se os respectivos cálculos conforme a metodologia de cálculo indicada na norma acima referida.

Limite superior (R'_T)

O limite superior (R'_T) é determinado assumindo uma dimensão de um fluxo de calor perpendicular à superfície de elemento conforme o esquema das resistências térmicas da parede apresentado na figura 111.

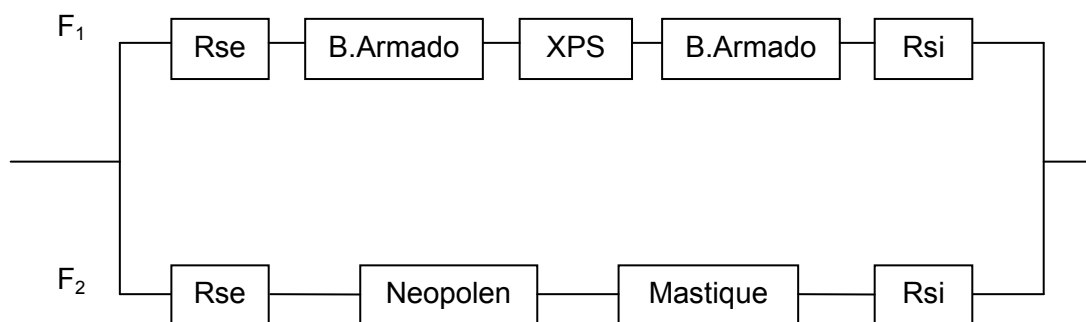


Figura 99 – Esquema das resistências térmicas da parede

Onde, F_1 , F_2 : representam as duas zonas térmicas.

Note-se que as ligações em aço não devem ser consideradas como zona térmica no cálculo, aplicando-se neste caso particular uma correcção do U.

Assim sendo, as resistências térmicas por camadas utilizadas, foram as seguintes:

Para F_1 :

$$R_{Rse} = 0,040 \text{ W/m}^{2*} \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$R_{B.A.} = 0,040 \text{ W/m}^{2*} \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$R_{XPS} = 1,622 \text{ W/m}^{2*} \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$R_{B.A.} = 0,025 \text{ W/m}^{2*} \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$R_{Rsi} = 0,130 \text{ W/m}^{2*} \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Sigma R_{F1} = 1,857 \text{ W/m}^{2*} \text{ } ^\circ\text{C}$$

Para F_2 :

$$R_{Rse} = 0,040 \text{ W/m}^{2*} \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$R_{Neopolene} = 0,032 \text{ W/m}^{2*} \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$R_{Mastique} = 0,070 \text{ W/m}^{2*} \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$R_{Rsi} = 0,130 \text{ W/m}^{2*} \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Sigma R_{F2} = 0,272 \text{ W/m}^{2*} \text{ } ^\circ\text{C}$$

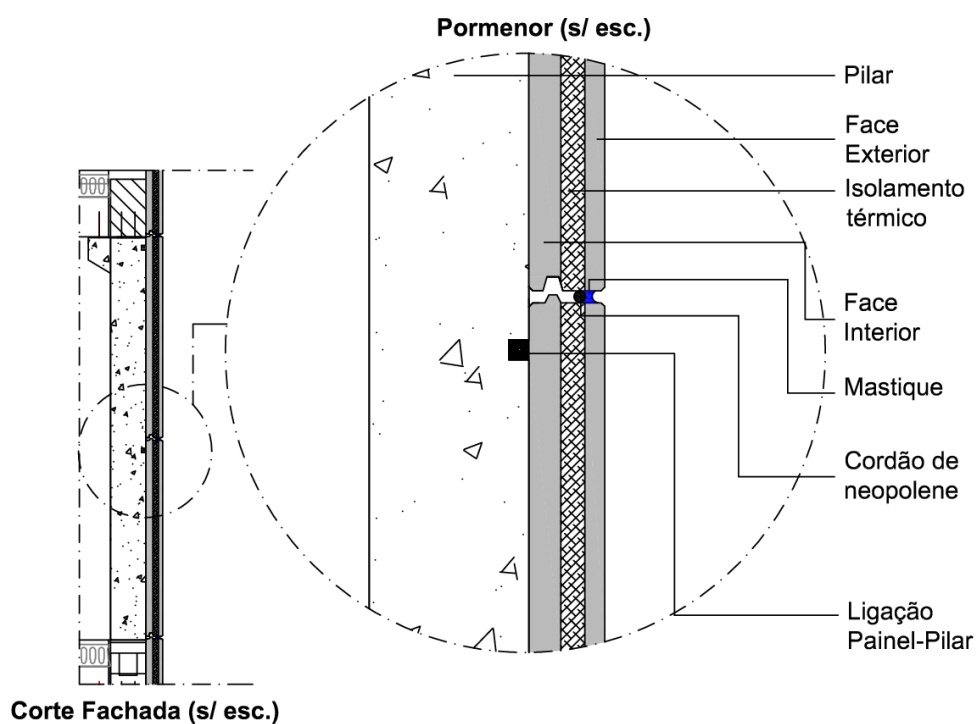


Figura 100 - Pormenor Fachada (sem escala)

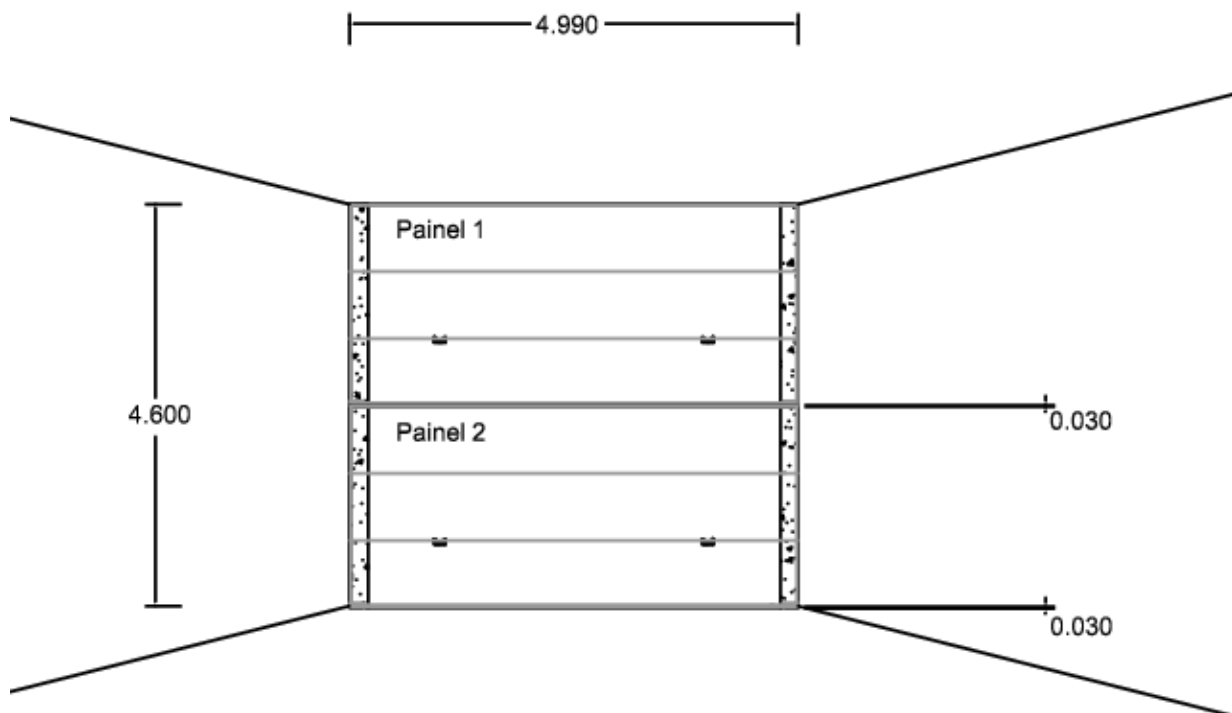


Figura 101 - Vista a 3 dimensões no interior do edifício

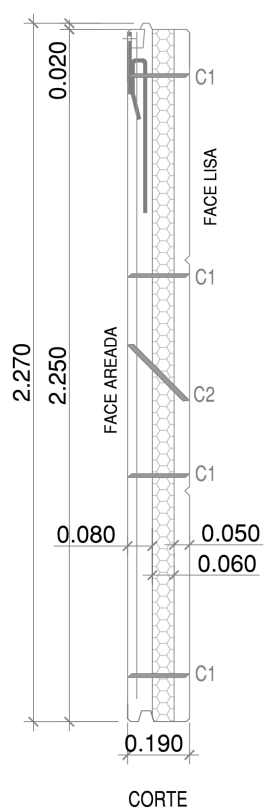


Figura 102 - Modelo de ligações entre elementos em aço (sem escala) (Adaptada de Concremat, 2011)

Para efeito de fracção de áreas, apresenta-se os seguintes cálculos:

Área da secção em análise:

$$A_{\text{secção}} = (4,600 \times 4,990) - (0,200 \times 4,600) \times 2 - 0,299 - 0,007$$

$$A_{\text{secção}} = 21,107 \text{ m}^2$$

Para as ligações de Aço, temos as seguintes áreas:

$$A_{F1} = (4,600 \times 4,990) - (0,200 \times 4,600) \times 2 - (0,003 \times 4,990) \times 2 - 48 \times (\pi \times 0,006^2) - 8 \times (\pi \times 0,008^2)$$

$$A_{F1} = 20,808 \text{ m}^2$$

$$A_{F2} = (0,003 \times 4,990) \times 2 \Leftrightarrow A_{F2} = 0,299 \text{ m}^2$$

Logo, tem-se:

$$A_{F1} = 98,583\% \quad ; \quad A_{F2} = 1,417\%$$

Assim sendo, Limite superior (R'_T) é dada, por:

$$R'_T = \frac{1}{\frac{F_1}{R_a} + \frac{F_2}{R_b}} \quad (7.27)$$

$$R'_T = \frac{1}{\frac{0,98583}{1,857} + \frac{0,01417}{0,272}} = 1,72 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Limite inferior (R''_T)

O limite inferior (R''_T) é determinado assumindo que todos os planos são paralelos à superfície dos elementos, conforme o esquema das resistências térmicas da parede apresentado na figura 115.

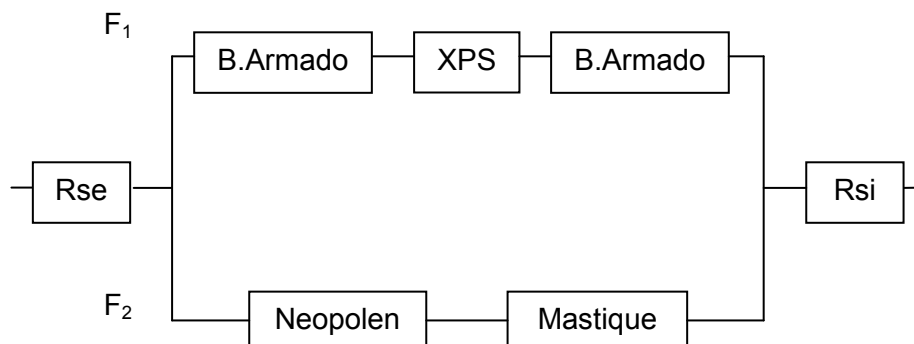


Figura 103 – Esquema das resistências térmicas da parede

Onde,

F_1, F_2 : Zonas térmicas.

Assim sendo, as resistências térmicas por camadas utilizadas, foram as seguintes:

Para F_1 :	Para F_2 :
$R_{B.A.} = 0,040 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$	$R_{\text{Neopolene}} = 0,032 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
$R_{\text{XPS}} = 1,622 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$	$R_{\text{Mastique}} = 0,070 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
$R_{B.A.} = 0,025 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$	
$\Sigma R_{F1} = 1,687 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$	$\Sigma R_{F2} = 0,102 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Assim sendo, para esta situação, tem-se:

$$R_T'' = R_{se} + \frac{1}{\frac{F_1}{R_a} + \frac{F_2}{R_b}} + R_{si} \quad (7.28)$$

$$R_T'' = 0,04 + \frac{1}{\frac{0,98583}{1,687} + \frac{0,01417}{0,102}} + 0,13 = 1,55 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Resistência Térmica Total do Painei

A resistência térmica total do painel, será dada pela seguinte expressão:

$$R_T = \frac{R_T' + R_T''}{2} \quad (7.29)$$

Assim sendo, tem-se:

$$R_T = \frac{1,72 + 1,55}{2} \Rightarrow R_T = 1,64 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Aplicabilidade

Segunda a referida norma a razão entre os limites superior e inferior da resistência térmica, é dado pela seguinte expressão:

$$\frac{R_T'}{R_T''} = \frac{1,72}{1,55} = 1,11 < 1,5 \quad (7.30)$$

Logo, verifica o estipulado na norma ISO 6946:2007

Estimativa de Erro

A estimativa de erro é dada pela seguinte expressão:

$$e [\%] = \frac{R_T' - R_T''}{2 \cdot R_T} \times 100 \quad (7.31)$$

Assim sendo, tem-se:

$$e [\%] = \frac{1,72 - 1,55}{2 \times 1,64} \times 100 = 5,18 \% < 20 \%$$

Logo, verifica o estipulado na norma ISO 6946:2007

Coeficiente de Transmissão Térmica para Ligações em Aço

O Coeficiente de Transmissão Térmica (U) é calculado através da seguinte expressão:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad (7.32)$$

em que:

U: Coeficiente de transmissão térmica [W/(m².°C)].

R_T: Resistência térmica total [m².°C /W].

Calculando o U, tem-se:

$$U = \frac{1}{1,64} \Leftrightarrow U = 0,61 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Aplicando as Correções

Como a ligação é em aço e atravessa o isolamento térmico, de acordo com a norma é necessário aplicar a devida correcção, como se apresenta de seguida:

$$\Delta U_f = \alpha \cdot \lambda_f \cdot n_f \cdot A_f \quad (7.33)$$

em que:

ΔU_f : Valor de correcção [W/(m².°C)].

α : Factor de escala para fixações mecânicas.

λ_f : Condutibilidade térmica das fixações [W/(m.°C)].

n_f : Número de fixações por metro quadrado que atravessa o isolamento térmico.

A_f : Área da secção dos dispositivos que atravessam o isolamento térmico [m²].

Assim sendo, tem-se:

$$n_f = \frac{1 \times (24 + 4 + 24 + 4)}{(4,99 \times 4,6) - 0,299} \Leftrightarrow n_f = 2,47 \text{ lig./m}^2 \quad (7.34)$$

Note-se que para efeitos de cálculos utiliza-se o valor de 2,47 lig./m²

$$\Delta U_f = 6 \times 50 \times 2,47 \times 0,007 \Leftrightarrow \Delta U_f = 5,187 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \quad (7.35)$$

Coefficiente de Transmissão Térmica Corrigido para Ligações em Aço

Para o cálculo das correcções deve-se atender aos seguintes pressupostos:

Se o valor de correcção ΔU_f , não for inferior a 3% do U, então:

$$U = \frac{1}{R_t} + \Delta U_f \quad (7.36)$$

Se o valor de correcção ΔU_f , for inferior a 3% do U, então:

$$U = \frac{1}{R_t} \quad (7.37)$$

Logo para a presente situação têm-se o seguinte coeficiente de transmissão térmica:

$$U = \frac{1}{R_t} + \Delta U_f \Leftrightarrow U = 0,61 + 5,187 \Leftrightarrow U = 5,80 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \quad (7.38)$$

- **Painel Sanduíche com Ligações em Fibra de Vidro**

Para o cálculo das ligações em fibra de vidro, conforme a norma, tem-se de seguida o modelo utilizado:

Limite superior (R'_T)

O limite inferior (R'_T) é determinado assumindo uma dimensão de um fluxo de calor perpendicular à superfície de elemento conforme o esquema das resistências térmicas da parede apresentado na figura 116.

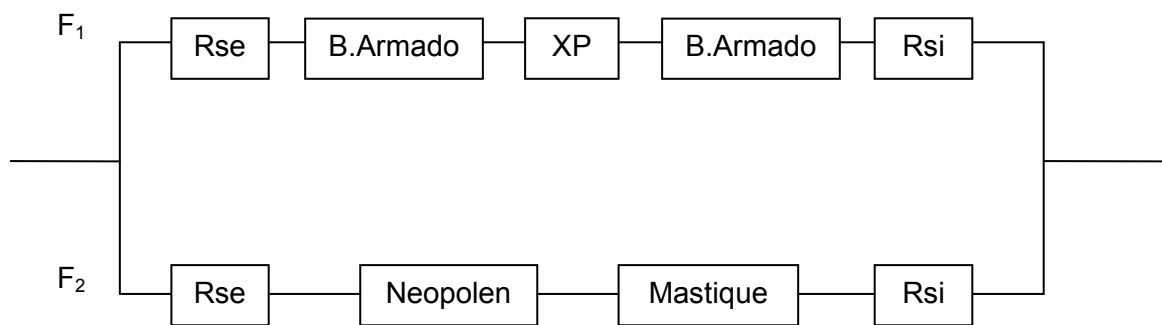


Figura 104 - Esquema das resistências térmicas da parede

Onde,

F_1, F_2 : Zonas térmicas.

Assim sendo, as resistências térmicas por camadas utilizadas, foram as seguintes:

Para F_1 :

$$R_{Rse} = 0,040 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$R_{B.A.} = 0,040 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Para F_2 :

$$R_{Rse} = 0,040 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$R_{Neopolene} = 0,032 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$R_{XPS} = 1,622 \text{ W/m}^{2*} \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$R_{Mastique} = 0,070 \text{ W/m}^{2*} \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$R_{B.A.} = 0,025 \text{ W/m}^{2*} \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$R_{Rsi} = 0,130 \text{ W/m}^{2*} \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$R_{Rsi} = 0,130 \text{ W/m}^{2*} \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Sigma R_{F1} = 1,857 \text{ W/m}^{2*} \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Sigma R_{F2} = 0,272 \text{ W/m}^{2*} \text{ }^{\circ}\text{C}$$

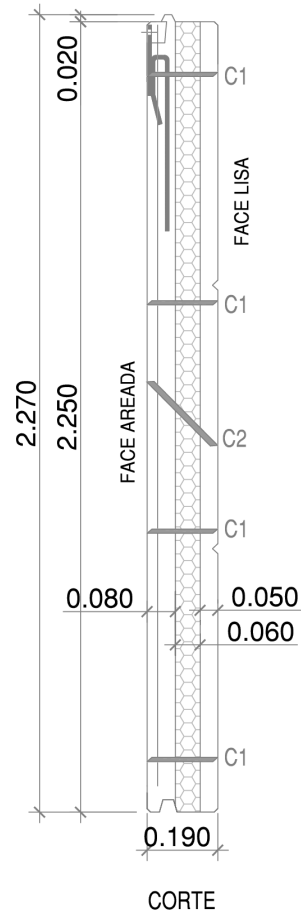


Figura 105 - Modelo de ligações entre elementos em fibra de vidro (sem escala) (Adaptada de Concremat, 2011)

Para efeito de fracção de áreas, considera-se as áreas já calculadas anteriormente, e tem-se:

$$A_{F1} = 98,583 \% \quad ; \quad A_{F2} = 1,417 \%$$

Logo, o limite superior R'_T é dado pela expressão:

$$R'_T = \frac{1}{\frac{F_1}{R_a} + \frac{F_2}{R_b}} \quad (7.39)$$

$$R'_T = \frac{1}{\frac{0,98583}{1,857} + \frac{0,01417}{0,272}} = 1,72 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Limite inferior (R''_T)

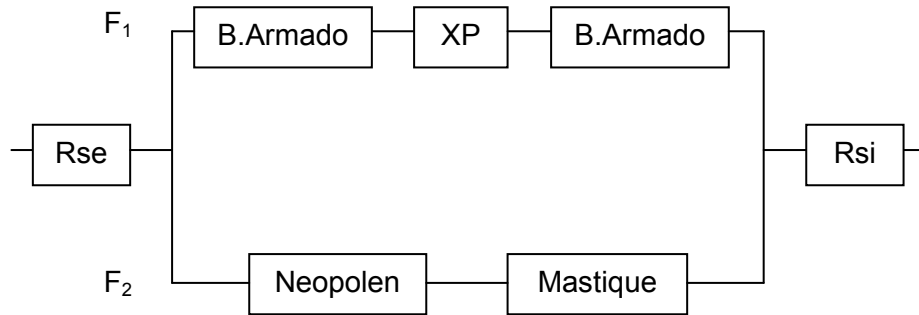


Figura 106 - Esquema das resistências térmicas da parede

Onde,

F_1, F_2 : Zonas térmicas.

Assim sendo, as resistências térmicas por camadas utilizadas, foram as seguintes:

Para F_1 :	Para F_2 :
$R_{B.A.} = 0,040 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$	$R_{Neoplene} = 0,032 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
$R_{XPS} = 1,622 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$	$R_{Mastique} = 0,070 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
$R_{B.A.} = 0,025 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$	
$\Sigma R_{F1} = 1,687 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$	$\Sigma R_{F2} = 0,102 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

O limite inferior (R''_T) é determinada assumindo que todos os planos são paralelos à superfície dos elementos.

Assim sendo, para esta situação, tem-se:

$$R_T'' = R_{se} + \frac{1}{\frac{F_1}{R_a} + \frac{F_2}{R_b}} + R_{si} \quad (7.40)$$

$$R_T'' = 0,04 + \frac{1}{\frac{0,98583}{1,687} + \frac{0,01417}{0,102}} + 0,13 = 1,55 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Resistência Térmica Total do Painei

A resistência térmica total do painel, será dada pela seguinte expressão:

$$R_T = \frac{1,72 + 1,55}{2} \Leftrightarrow R_T = 1,64 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W} \quad (7.41)$$

Coeficiente de Transmissão Térmica para Ligações em Fibra de Vidro

O Coeficiente de Transmissão Térmica (U) é tratado através da seguinte expressão:

$$U = \frac{1}{1,64} \Leftrightarrow U = 0,61 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \quad (7.42)$$

Como a condutibilidade térmica das ligações em fibra de vidro é inferior a $1 \text{ W} / \text{m} \cdot ^\circ\text{C}$ e o seu material não é metal, então segundo a norma 6946:2007 as correcções do coeficiente de transmissão térmica serão dispensados.

Aplicabilidade

Segunda a referida norma a razão entre os limites superior e inferior da resistência térmica, é dado pela seguinte expressão:

$$\frac{R_T'}{R_T''} = \frac{1,72}{1,55} = 1,11 < 1,5 \quad (7.43)$$

Logo, verifica o estipulado na norma ISO 6946:2007

Estimativa de Erro

A estimativa de erro é dada pela seguinte expressão:

$$e[\%] = \frac{R'_T - R''_T}{2 \times R_T} \times 100 \quad (7.44)$$

Assim sendo, tem-se:

$$e[\%] = \frac{1,72 - 1,55}{2 \times 1,64} \times 100 = 5,18 \% < 20 \%$$

Logo, verifica o estipulado na norma ISO 6946:2007

- **Painel Sanduíche com Ligações em *Thermomass***

Para o cálculo das ligações em thermomass, conforme a norma, tem-se de seguida o modelo utilizado:

Limite superior (R'_T)

O limite superior (R'_T) é determinado assumindo uma dimensão de um fluxo de calor perpendicular à superfície de elemento conforme o esquema das resistências térmicas da parede apresentado na figura 119.

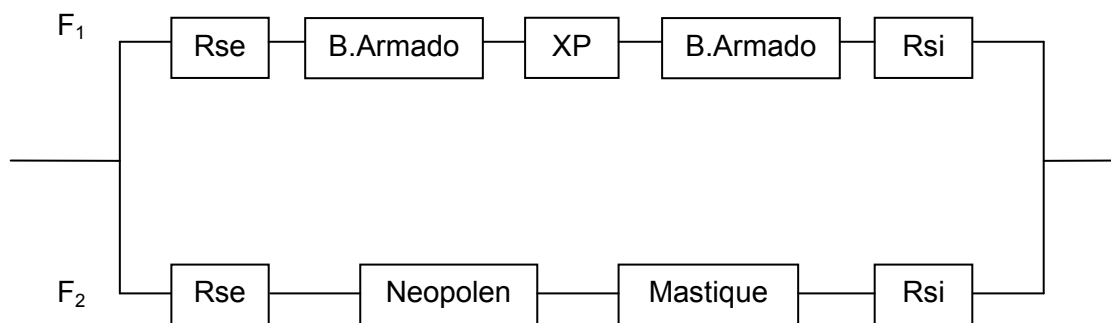


Figura 107 - Esquema das resistências térmicas da parede

Onde,

F_1, F_2 : Zonas térmicas.

Assim sendo, as resistências térmicas por camadas utilizadas, foram as seguintes:

Para F_1 :

$$R_{Rse} = 0,040 \text{ W/m}^{2*} \text{ °C}$$

$$R_{B.A.} = 0,040 \text{ W/m}^{2*} \text{ °C}$$

$$R_{XPS} = 1,622 \text{ W/m}^{2*} \text{ °C}$$

$$R_{B.A.} = 0,025 \text{ W/m}^{2*} \text{ °C}$$

$$R_{Rsi} = 0,130 \text{ W/m}^{2*} \text{ °C}$$

$$\Sigma R_{F1} = 1,857 \text{ W/m}^{2*} \text{ °C}$$

Para F_2 :

$$R_{Rse} = 0,040 \text{ W/m}^{2*} \text{ °C}$$

$$R_{Neoplene} = 0,032 \text{ W/m}^{2*} \text{ °C}$$

$$R_{Mastique} = 0,070 \text{ W/m}^{2*} \text{ °C}$$

$$R_{Rsi} = 0,130 \text{ W/m}^{2*} \text{ °C}$$

$$\Sigma R_{F2} = 0,272 \text{ W/m}^{2*} \text{ °C}$$

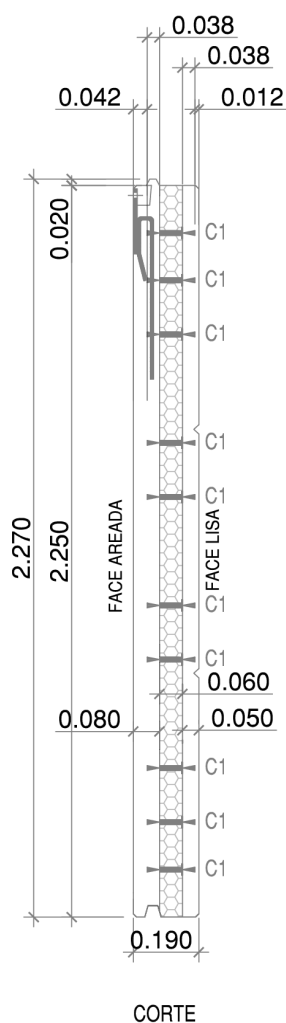


Figura 108 - Modelo de ligações entre elementos em *thermomass* (sem escala) (Adaptada de Concremat, 2011)

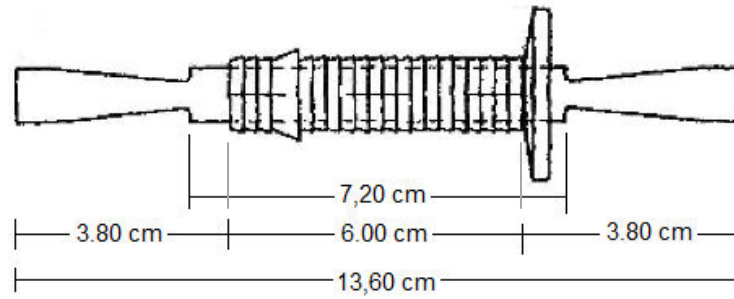


Figura 109 - Ligação de *thermomass* (sem escala) (Adaptada do Catálogo Construction Systems Marketing, 2012)

Para efeito de fracção de áreas, apresenta-se os seguintes cálculos:

Área da secção em análise:

$$A_{\text{secção}} = (4,600 \times 4,990) - (0,200 \times 4,600) \times 2 - 0,011$$

$$A_{\text{secção}} = 21,103 \text{ m}^2$$

Para as ligações de Aço, temos as seguintes áreas:

$$A_{F1} = (4,600 \times 4,990) - (0,200 \times 4,600) \times 2 - (0,003 \times 4,990) \times 2 - 68 \times 2 \times \left(\pi \times \left(\frac{0,0098^2}{2} \right) \right)$$

$$A_{F1} = 20,804 \text{ m}^2$$

$$A_{F2} = (0,003 \times 4,990) \times 2 \Leftrightarrow A_{F2} = 0,299 \text{ m}^2$$

Logo, tem-se:

$$A_{F1} = 98,583\% \quad ; \quad A_{F2} = 1,417\%$$

Logo, o limite superior, apresenta-se da seguinte forma:

$$R'_T = \frac{1}{\frac{F_1}{R_a} + \frac{F_2}{R_b}} \quad (7.45)$$

$$R'_T = \frac{1}{\frac{0,98583}{1,857} + \frac{0,01417}{0,272}} = 1,72 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Limite inferior (R''_T)

O limite inferior (R''_T) é determinado assumindo que todos os planos são paralelos à superfície dos elementos. Note-se que as espessuras de betão armado em F1 e F2 são diferentes, por essa razão, não se considerou um paralelismo entre as duas conforme o esquema das resistências térmicas da parede apresentado na figura 122.

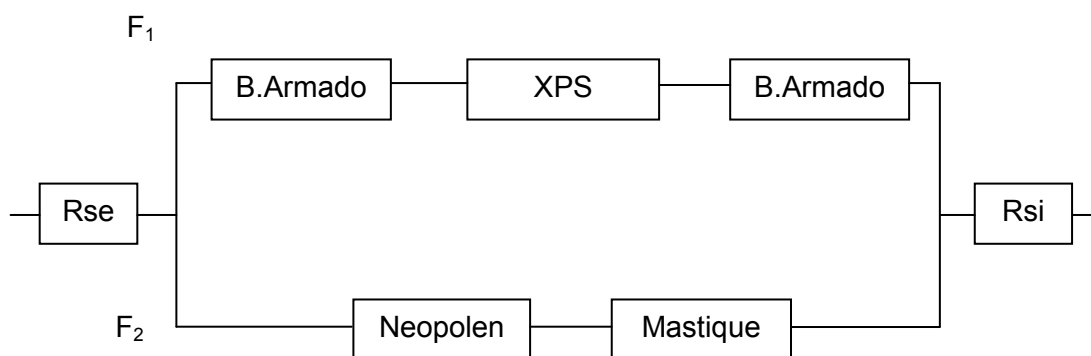


Figura 110 - Esquema das resistências da parede

Onde,

F_1, F_2 : Zonas térmicas.

Assim sendo, as resistências térmicas por camadas utilizadas, foram as seguintes:

Para F_1 :

$$R_{B.A.} = 0,040 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$R_{XPS} = 1,622 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$R_{B.A.} = 0,025 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\Sigma R_{F1} = 1,687 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Para F_2 :

$$R_{Neoplene} = 0,032 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$R_{Mastique} = 0,070 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\Sigma R_{F2} = 0,102 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Assim sendo, para esta situação o valor da resistência térmica inferior será:

$$R''_T = R_{se} + \frac{1}{\frac{F_1}{R_a} + \frac{F_2}{R_b}} + R_{si} \quad (7.46)$$

$$R_T'' = 0,04 + \frac{1}{\frac{0,98583}{1,687} + \frac{0,01417}{0,102}} + 0,13 = 1,88 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W}$$

Resistência Térmica Total do Painei

A resistência térmica total do painel, será dada pela seguinte expressão:

$$R_T = \frac{1,72 + 1,88}{2} \Leftrightarrow R_T = 1,80 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C/W} \quad (7.47)$$

Coefficiente de Transmissão Térmica para Ligações em *Thermomass*

O Coeficiente de Transmissão Térmica (U) é tratado através da seguinte expressão:

$$U = \frac{1}{1,80} \Leftrightarrow U = 0,56 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \quad (7.48)$$

Como a condutibilidade térmica das ligações em fibra de vidro é inferior a $1 \text{ W} / \text{m} \cdot ^\circ\text{C}$ e o seu material não é metal, segundo a norma 6946:2007, as correcções do coeficiente de transmissão térmica serão dispensados.

Aplicabilidade

Segunda a referida norma a razão entre os limites superior e inferior da resistência térmica, é dado pela seguinte expressão:

$$\frac{R_T'}{R_T''} = \frac{1,72}{1,88} = 0,91 < 1,5 \quad (7.49)$$

Logo, verifica o estipulado na norma ISO 6946:2007

Estimativa de Erro

A estimativa de erro é dada pela seguinte expressão:

$$e [\%] = \frac{R_T' - R_T''}{2 \cdot R_T} \times 100 \quad (7.50)$$

Assim sendo, tem-se:

$$e[\%] = \frac{1,72 - 1,88}{2 \times 1,80} \times 100 = -14,40\% < 20\%$$

Logo, verifica o estipulado na norma ISO 6946:2007

7.5 Análise Comparativa de Resultados

De seguida apresenta-se diversas tabelas comparativas dos resultados obtidos. De acordo com o quadro abaixo, verifica-se uma grande diferença de valores entre o painel com ligações em aço e os restantes. Igualmente se encontram valores muito diferentes entre as resistências térmicas das ligações em aço em comparação com as ligações em fibra de vidro e as ligações em *thermomass*.

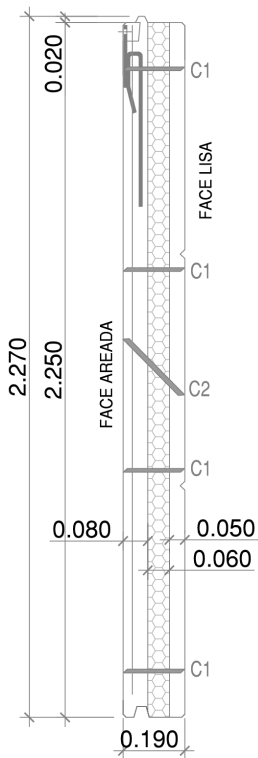
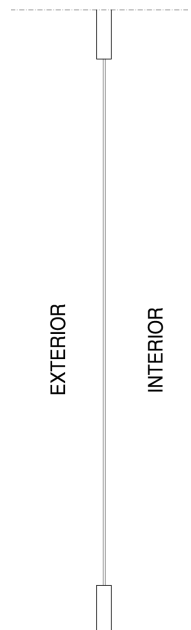
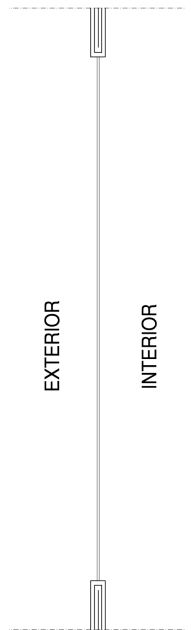
O coeficiente de transmissão térmica das ligações em aço será $5,80 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$, já nas ligações em fibra de vidro obteve-se $0,61 \text{ W/m}^2$ e *thermomass* o valor é de $0,56 \text{ W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$. O custo médio para as ligações em aço, será, $21,66 \text{ €/m}^2$ e para as ligações em fibra de vidro e *thermomass* será, respectivamente $26,16 \text{ €/m}^2$ e $27,15 \text{ €/m}^2$.

Quadro 9 - Quadro resumo de resultados do caso em análise

Coeficiente de Transmissão Térmica de Painel de Sanduíche de Fachada em Betão Pré-Fabricado		
Ligações em Aço	Ligações em Fibra de Vidro	Ligações em <i>Thermomass</i>
U ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$)	U ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$)	U ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$)
5,80	0,61	0,56
Resistência térmica ligações em aço [λ ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$)]	Resistência térmica ligações em fibra de vidro [λ ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$)]	Resistência térmica ligações em <i>thermomass</i> [λ ($\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$)]
50,000	0,500	0,303
Custo Médio de Painel de Sanduíche de Fachada em Betão Pré-Fabricado		
Valor (€/m^2)	Valor (€/m^2)	Valor (€/m^2)
21,66	26,16	27,15

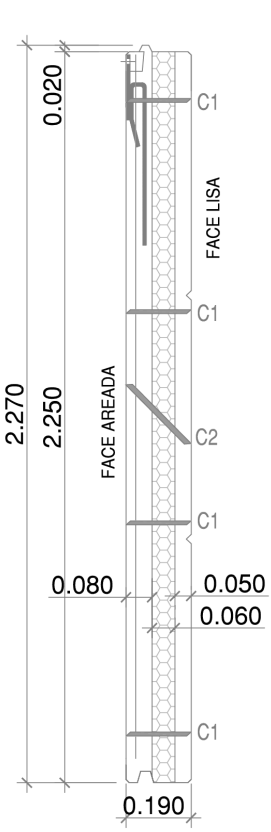
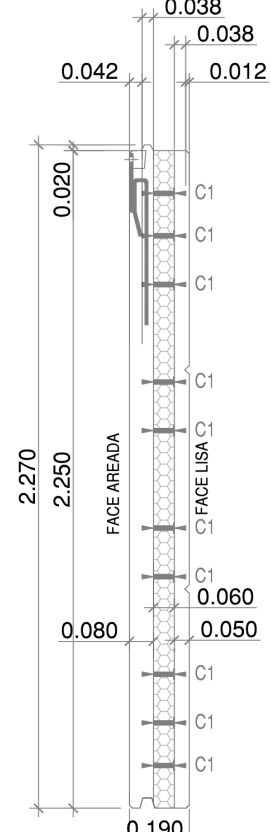
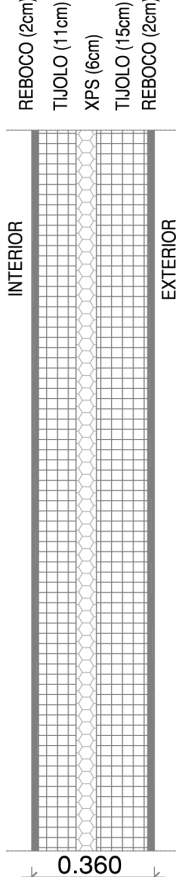
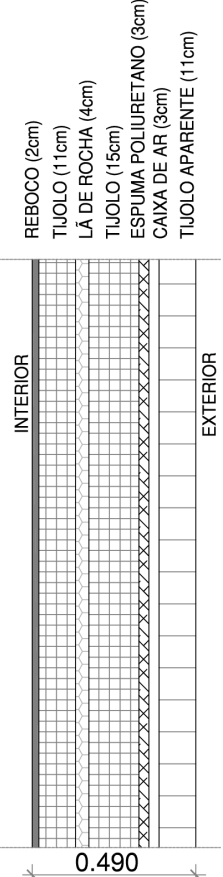
De seguida comparou-se o painel de sanduíche de ligações em aço com um elemento de construção com um coeficiente de transmissão térmica semelhante, ou seja, uma janela simples de correr com vidro simples com e sem corte térmico, cujo coeficiente de transmissão térmica será de 6,50 W/m².°C e 5,40 W/m².°C, respectivamente.

Quadro 10 - Quadro comparativo dos resultados de ligações em aço

Análise Comparativa do Coeficiente de Transmissão Térmica		
Painel de Sanduíche com ligações em aço	Janela simples de correr com vidro simples sem corte térmico	Janela simples de correr com vidro simples com corte térmico
 <p>Figura 111 - Ligações em aço (Adaptada de Concremat, 2011)</p>	 <p>Figura 112 - Janela simples sem corte térmico</p>	 <p>Figura 113 - Janela simples com corte térmico</p>
U (W/m ² .°C)	U (W/m ² .°C) ⁸	U (W/m ² .°C) ¹⁰
5,80	6,50	5,40

⁸ Valores retirados do ITE50 - Santos, C. A. Pina dos; Matias, Luís – Coeficientes de Transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios. Lisboa: LNEC, 2006, ITE 50

Quadro 11 - Quadro comparativo resultados de ligações em fibra de vidro e *thermomass*

Análise Comparativa do Coeficiente de Transmissão Térmica			
Painel de Sanduíche com ligações em fibra de vidro	Painel de Sanduíche com ligações em <i>thermomass</i>	Parede Dupla	Parede Tripla
 <p>Figura 114 - Ligações em fibra de vidro (Adaptada de Concremat, 2011)</p>	 <p>Figura 115 - Ligações em <i>thermomass</i> (Adaptada de Concremat, 2011)</p>	 <p>Figura 116 - Parede dupla</p>	 <p>Figura 117 - Parede tripla</p>
U (W/m ² .°C)	U (W/m ² .°C)	U (W/m ² .°C)	U (W/m ² .°C)
0,61	0,56	0,42	0,27
Custo Médio de Painel de Sanduíche de Fachada em Betão Pré-Fabricado			
Valor (€/m ²)	Valor (€/m ²)	Valor (€/m ²)	Valor (€/m ²)
26,16	27,15	46,00	62,00

Para a determinação do valor médio da parede dupla apresentado contabilizou-se:

Alvenaria de tijolo cerâmico perfurado constituída por tijolo vazado 30x20x15 no pano exterior e 30x20x11 no pano interior, incluindo-se isolamento térmico em XPS de 60 mm e argamassa de assentamento ao traço 1:3, travamento, cintagem, abertura de vãos e tacos em madeira. Emboço e reboco das paredes interiores e exteriores, com argamassa de cimento e areia ao traço 1:5. Pintura de paredes interiores e exteriores com tinta plástica, nas demãos necessárias ao seu perfeito acabamento. Incluindo todos os trabalhos necessários ao seu perfeito acabamento.

Já no caso da determinação do valor médio da parede tripla, contabilizou-se:

Alvenaria de tijolo cerâmico perfurado constituída por tijolo vazado 30x20x15 no pano exterior e 30x20x11 no pano interior, incluindo-se isolamento térmico em lã de rocha de 40 mm e argamassa de assentamento ao traço 1:3, travamento, cintagem, abertura de vãos e tacos em madeira. Emboço e reboco das paredes interiores, com argamassa de cimento e areia ao traço 1:5. Pintura de paredes interiores com tinta plástica, nas demãos necessárias ao seu perfeito acabamento e revestimento exterior em tijolo aparente. Incluindo todos os trabalhos necessários ao seu perfeito acabamento.

Para uma análise mais precisa utilizou-se dois tipos de soluções de alvenaria, uma solução mais usual constituída por uma parede dupla, e uma solução com um melhor desempenho térmico constituída por uma parede tripla.

Verifica-se um desempenho térmico bastante superior na parede tripla face aos painéis, mas com uma grande desvantagem económica, sendo quase o triplo do custo por metro quadrado em relação ao painel. Já no caso da parede dupla, igualmente superior em termos térmicos, também economicamente é bastante mais dispendiosa, aproximando-se quase do dobro do custo por metro quadrado face aos painéis. Sendo que à parte do custo económico das paredes de alvenaria, existe toda uma logística a todos os níveis inerentes à construção de paredes de alvenaria em comparação com a pré-fabricação.

Assim sendo, conclui-se que:

- O menor custo pertence aos painéis sanduiche com ligações em fibra de vidro com um valor de 26,16 €/m² e com um coeficiente de transmissão térmica de 0,61 W/m².°C,
- A parede tripla que tem um valor de 62 €/m² e dispõe de um coeficiente de transmissão térmica de 0,27 W/m².°C, representado o maior custo.
- Conclui-se ainda que o maior custo está associado ao melhor desempenho térmico.

8. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

8.1 Principais conclusões

Os painéis de sanduíche pré-fabricados em betão para utilização em fachadas constituem uma solução interessante, na medida em que permitem uma grande variedade de formas e acabamentos, apresentam elevada resistência e durabilidade, rapidez de execução, economia de meios de aplicação, elevados padrões de controlo de qualidade e escassa manutenção. Tal como qualquer elemento construtivo, este tipo de painéis devem satisfazer uma multiplicidade de exigências, que devem ser devidamente compatibilizadas na fase de concepção dos sistemas. A presente dissertação abordou as principais exigências a equacionar na selecção destes painéis.

Os painéis pré-fabricados representam uma solução de envolvente de fachadas com elevada liberdade arquitectónica. Os painéis podem apresentar-se em betão autoclavado, betão com agregados leves, em betão armado e em GRC (betão reforçado com fibra de vidro). Por norma, o fabricante executa os painéis de acordo com os projectos de arquitectura que são apresentados. Caso a caso e através dos gabinetes técnicos que estas empresas dispõem, os projectos são interpretados de forma a conceber e produzir peças segundo as indicações dos projectistas.

A concepção de painéis de fachada em betão pré-fabricado foi um dos focos desta dissertação. Na produção, nomeadamente nos moldes, estes devem ter um controlo de qualidade rígido, deverão ser revistos, analisados periodicamente, registando as anomalias detectadas, usando assim a prevenção, para detectar possíveis falhas nas peças a betonar. Para uma correcta betonagem, deverá ser realizada uma vibração que permita alcançar faces lisas e homogéneas. É indispensável utilizar um betão com uma grande trabalhabilidade, sendo recomendado uma classe de resistência mínima C30/37. Na fase de cura, o betão deve ser protegido, sendo utilizadas membranas de cura para assegurar, que não exista uma rápida libertação da humidade, no sentido de prevenir a micro fissuração e obter benefícios em relação às tensões de rotura. A desmoldagem é realizada com poucas horas de cura (12 horas), sendo importante existir algum cuidado na abertura dos moldes, para não danificar as peças. Nesta fase existe um processo de elevação das peças, esta operação consiste em retirar o betão do molde e deve ser realizada sem choques nem impulsos desmedidos. Na fase de armazenamento deve ser evitado solicitações nas peças, que não estão contempladas nem previstas. Os meios de elevação em obra devem ser devidamente dimensionados para a carga a elevar.

Em relação às exigências de conforto visual ao nível estético, conclui-se que no caso dos painéis de fachada podem ser utilizados os acabamentos normalmente usados em painéis de betão armado, facto que confere uma grande liberdade de escolha ao projectista. Assim sendo, existe uma enorme diversidade de texturas e formas para o acabamento nos painéis pré-fabricados. Também existe a possibilidade de aplicar uma grande variedade de acabamentos correntes, tais como: seixo,

elementos cerâmicos, placas de pedra, entre outros, durante a realização dos painéis. Nos painéis pré-fabricados pode ser utilizado um leque de cores naturais muito vasto. Basicamente estas cores são as mesmas que se podem utilizar em pedra natural. Pode-se utilizar diversos materiais no revestimento de elementos de fachada pré-fabricados como pedra natural, tijolos, peças cerâmicas, entre outros. Os painéis pré-fabricados de betão têm uma grande liberdade arquitectónica ao nível da geometria. Estes têm também algumas condicionantes, entre elas, o transporte para obra e a linha de fabricação.

Nas exigências habitacionais focou-se o comportamento térmico, especialmente os diversos isolamentos térmicos existentes, ou seja, as inúmeras soluções de isolamento térmico no mercado, nomeadamente: lã mineral (lã de rocha e lã de vidro), ICB, aglomerado de cortiça natural com ligantes betuminosos ou sintéticos, EPS, XPS, PUR, PIR, PEF, grânulos leves ou fibras soltas e FEF.

As principais exigências a satisfazer pelas fachadas são de segurança, habitabilidade, conforto visual e táctil, adaptação à utilização normal, durabilidade e economia.

Conclui-se que os tipos de juntas são função da sua classificação: vertical ou horizontal, sobrepostas ou justapostas, de um ou dois estágios. O desempenho está também condicionado por uma maior ou menor estanquidade à água e ao ar e uma maior ou menor capacidade de absorver deformações.

Analisando-se o comportamento estrutural dos painéis de fachada em betão pré-fabricado, depressa se conclui que estão sujeitos a forças verticais e a forças horizontais. Assim sendo, um painel de fachada do tipo sanduíche pode ser comparado a uma viga ou viga-parede, aquando da consideração dos esforços verticais, tal como ao nível das forças horizontais podemos comparar o painel a uma laje. Ao nível de dimensionamento o painel de sanduíche é constituído por uma lâmina exterior, lâmina interior e núcleo central. Assim sendo, utiliza-se a lâmina interior, para a resistência às solicitações.

O princípio de funcionamento dos painéis sanduíche consiste em uma lâmina interna (lado interior do painel), com a função estrutural, de seguida encontra-se o isolamento térmico e por fim na zona exterior (lado exterior do painel) com a função de revestimento. Assim sendo, as lâminas estão unidas através de ligações. A lâmina externa deve ser livre para expandir e contrair, para isto, a lâmina externa deve ser fixa na lâmina interna. Exceptuando os critérios mecânicos, as ligações entre lâminas devem cumprir requisitos em relação à ductilidade e à durabilidade.

As fixações de painéis de fachada em betão pré-fabricados, poderão apresentar três tipos de funções: alinhamento do painel de montagem; suporte do peso próprio; absorção das movimentações diferenciais, cargas laterais e movimentações diferenciais da estrutura e do próprio painel.

O caso em análise da presente dissertação, consistiu num estudo em termos económicos ao nível das ligações entre elementos de betão armado de um painel de fachada sanduíche em betão pré-

fabricado tendo em consideração o comportamento térmico e estrutural para ligações entre elementos de painéis em aço, fibra de vidro e *Thermomass*.

Assim sendo, apresentam-se de seguida as principais conclusões do estudo realizado:

- O facto da resistência térmica do aço compreender um valor na ordem dos $50 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$, face à resistência térmica de $0,50 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$ da fibra de vidro e os $0,303 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$ da *Thermomass*, resulta em valores de coeficiente de transmissão térmica bastante díspares.
- Importa salientar que será o número de ligações por metro quadrado, que este painel dispõe para as ligações em aço, é cerca de $2,47 \text{ ligações/m}^2$, com diâmetros de 16 mm e 12 mm, aliado a uma resistência de $50 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{W}$, é compreensivelmente um ponto negativo.
- Achou-se por bem realizar uma comparação desta tecnologia, com materiais vulgarmente utilizados na construção. Assim sendo, face aos valores apresentados para o painel de sanduíche com ligações em aço, comparou-se com uma janela simples de correr com vidro simples sem corte térmico e uma janela simples de correr com vidro simples com corte térmico. Como tal, entende-se que este caso apresenta um mau comportamento térmico.
- Já para o painel de Sanduíche com ligações em fibra de vidro e para as ligações em *Thermomass*, optou-se por comparar com uma parede dupla com 6 cm de isolamento térmico e uma parede tripla com um excelente desempenho. Verifica-se contudo que os painéis com ligações em fibra de vidro e com as ligações em *Thermomass* têm um comportamento térmico inferior à parede dupla e à parede tripla, embora o seu desempenho seja aceitável.
- De realçar que os painéis não têm revestimento interior e exterior e o seu isolamento térmico é de apenas 6 cm. No caso de colocar-se um revestimento interior e revestimento exterior, assim como aumentar o seu isolamento térmico, o desempenho do painel pode ser superior.
- Ao nível económico as ligações de fibra de vidro e em *Thermomass* apresentam valores muito semelhantes. O valor por metro quadrado das ligações em aço é bastante elevado face ao desempenho apresentado.
- O melhor desempenho térmico pertence aos painéis com ligações em *Thermomass*, de seguida temos os painéis com ligações em fibra de vidro e por fim o pior desempenho pertence aos painéis com ligações em aço.

Perante os factos apresentados os painéis de fachada sanduíche em betão pré-fabricado apresentam inúmeras vantagens:

- Rapidez de execução, devido aos trabalhos de cofragem e escoramento praticamente não existirem, aumentando a segurança em obra;
- Melhor controlo de gestão da obra e planeamento;

- Devido à construção em fábrica dos elementos, os custos de produção serão baixos, assim como os custos de manutenção;
- Diminui-se os custos com pessoal, devido à menor mão-de-obra necessária;
- Existe um maior controlo de qualidade e durabilidade;
- Contando com um sistema de standardização do processo construtivo, a produtividade é superior.
- Existe menos dependência das condições atmosféricas;
- Maior controlo sob a área de estaleiro.

À parte das vantagens já mencionadas, existirá também melhorias sociais em obra, isto é, melhores condições de trabalho dos trabalhadores e melhor segurança em obra. Tornar-se-á mais viável economicamente investir em instalações de pré-fabricação e equipamentos de montagem.

Como principais desvantagens do uso do pré-fabricado, pode-se anotar a necessidade de uma atenção especial nas fases de fabrico, de transporte, de montagem e de desempenho. De facto, um grande entrave a uma maior vulgarização da pré-fabricação, essencialmente do sector pesado, está na exigência de bons acessos, que permitam o trânsito dos meios que transportam os componentes para a obra.

8.2 Desenvolvimentos futuros

A presente dissertação pode servir de base para possíveis estudos no futuro no campo dos painéis de sanduíche em betão pré-fabricado. Assim sendo, entre diversos temas que podem ser continuados, seria importante desenvolver um sistema de ligação entre painéis que resultasse na melhoria térmica das ligações entre painéis com um custo de produção inferior ao apresentado.

Devido ao facto de as exigências de resistência ao fogo e as exigências acústicas, não serem o objectivo principal da dissertação, não foram abordadas. Contudo seria importante realizar um estudo acerca do comportamento destes painéis sanduíche de fachada em betão pré-fabricado face às paredes de alvenaria tradicionalmente utilizadas na construção.

9. BIBLIOGRAFIA

Aelenei, Daniel - Apontamentos Aulas Teóricas - Higrotérmica e Acústica . Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2007.

Allen, H. G., Analysis and design of structural sandwich panels, Pergamon Press, Oxford, 1969.

APICER - Associação Portuguesa da Indústria de Cerâmica, CTCV e DEC-FCTUC. Manual de Alvenaria de Tijolo. Associação Portuguesa de Industriais de Cerâmica de Construção, Coimbra, 2000.

Tabelas Técnicas, J.S. Brasão Farinha e A. Correia dos Reis, Edição P.O.B, Setúbal, 1993.

Building Research Establishment (BRE). Insulated External Cladding Systems. Good Building Guide GBG 31. Reino Unido, 1999.

Cardoso, F. F. – Soldagem de Aços – São Paulo: Núcleo de Tecnologia de Construção Metálica. São Paulo, 1988.

Catálogo BS Itália – Itália, 2011.

Catálogo Shoeck, 2011.

Catálogo de Fichas de Produto – Prontuário – Edição n.º 7, 2009.

Catálogo Sotecnisol – Lisboa, 2011.

Constructions Systems Marketing, 2012.

Corvacho, Maria Helena - Catálogo de Pontes Térmicas. Nota de Informação Técnica . NIT 003. LFC/FEUP, Porto, 1999.

J. D' Arga e Lima, Betão Armado - Armaduras (REBAP-83), Edição do LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1997.

(Davies, 2001), Davies, J.M., Lightweight Sandwich Construction, Osney Mead, Oxford OX2 0EL: Blackwell Science Ltd, 2001.

Eurocode 2, EN 1992-1-1: Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings, CEN, Brussels, Belgium, 1992.

Eurocode 2, EN 1994-1-1: Eurocode 2: Design of Concrete Structures - Part 1-3: General Rules - Precast Concrete Elements and Structures, ENV 1992-1-3, Brussels, Belgium, 1994.

EN ISO 10211-1; Thermal bridges in building constructions - Heat flows and surface temperatures. Part 1: General calculation methods.

EN ISO 10211-2; Thermal bridges in building constructions - Calculation of heat flows and surface temperatures. Part 2: Linear thermal bridges.

EN ISO 6946:1997 - Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method

Fib – Planning and Design Handbook on Precast Building Structures, Commission on Prefabrication, Task Group TG 6.12. Fib – Ceb – Fip, Draft May 2011.

Foot, Paul – 27 de Dezembro de 1968 – Artigo da Revista – Tribune Magazine, London 1968.

Freitas, Vasco P. - Selecção exigencial de painéis pré-fabricados em betão da pré gaia para aplicação em fachadas, Relatório . HT 171/01, Pré gaia - Sociedade de Pré-Fabricação, S. A., Porto, Janeiro de 2002.

Freitas, Vasco Peixoto de; Pinto, Manuel. Metodologia para a Selecção Exigencial de Isolantes Térmicos. Nota de Informação Técnica. NIT_001. Porto, LFC/FEUP, 1997.

Hexcel Composites, HexWeb Honeycomb Attributes and Properties, catálogo da empresa Hexcel Composites, 1999.

Lima, Manuel António da Silva - Armazenamento de energia térmica em componentes de edifícios sobre os quais incide radiação solar directa, FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto 1995.

Lucas, José A. Carvalho - Exigências Funcionais de Revestimentos de Paredes. ICT, Informação Técnica de Edifícios . ITE 25. Lisboa, LNEC, 1990.

Leite, M., Freitas, M., Silva, A., Sandwich construction, Apresentação IST, DesignStudio, 2004.

Lúcio, Valter - Aportamentos Aulas Teóricas – Betão Armado I. Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2007.

Mendonça, Paulo - Habitar sob uma segunda pele : estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados, Universidade do Minho, Minho, 2005.

Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI). (1989), Architectural Precast Concrete, 2nd ed., PCI, Chicago, IL.

Pflug, J., Vangrimde, B., Verpoest, I., Bratfisch, P., Vandepitte, D., Continuously produced honeycomb cores, Proc. SAMPE 2003 , Long Beach, CA, USA, May 2003.

Pinho, Fernando F. S - Principais Patologias em Paredes de Edifícios Antigos. REPAR 2000 - Encontro Nacional sobre Conservação e Reabilitação de Estruturas. LNEC, Lisboa, Junho de 2000.

Mascarenhas, Jorge - Sistemas de Construção - IX - Contributo do RCCTE, Detalhes construtivos sem pontes térmicas, Materiais básicos (6.ª parte): o Betão. Livros Horizonte, 2008.

Decreto-Lei 40/1990 de 6 de Fevereiro. Diário da Republica I Série A de 6 de Fevereiro de 1990.

Decreto-Lei 80/2006 de 4 de Abril. Diário da Republica I Série A de 4 de Abril de 2006.

Santos, C. A. Pina dos; Matias, Luís – Coeficientes de Transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios. Lisboa: LNEC, 2006, ITE 50.

Saraiva, Filipe - Execução de Estruturas Pré-fabricadas em Betão - Instituto Superior técnico IST, Opway, Lisboa, 14 de Janeiro 2010.

Silva, P. Martins - Acústica de Edifícios. Informação Técnica de Edifícios . ITE 8. Lisboa, MHOP/LNEC, 1978.

Silva , J.A Raimundo Mendes - APICER, CTCV e DEC-FCTUC - Manual de Alvenaria de Tijolo. Associação Portuguesa de Industriais de Cerâmica de Construção, Coimbra, 2000.

SANTOS, C. A. Pina dos; PAIVA, J. Vasconcelos – Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios. Lisboa: LNEC, 1990. Informação Técnica de Edifícios ITE 28.

Triantafyllou, T.C., Gibson, L.J., Failure mode maps for foam core sandwich beams, Materials Science and Engineering, 1987.

Taylor, Howard P. J. - Precast concrete cladding. London, Edward Arnold, 1992.

Valério, Jorge Gustavo Marques Alface Pereira - Avaliação do Impacte das Pontes Térmicas no Desempenho Térmico e Energético de Edifícios Residenciais Correntes, IST - Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2007.

Van Acker, Arnold - The Design of Precast Concrete Structures, Consolis Technology, Belgium, 2003.